



Distribuição e impacte da formiga-argentina (*Linepithema humile*) nas comunidades naturais do arquipélago da Madeira

Cândida Sofia Guerreiro Ramos

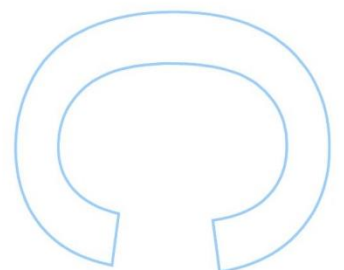
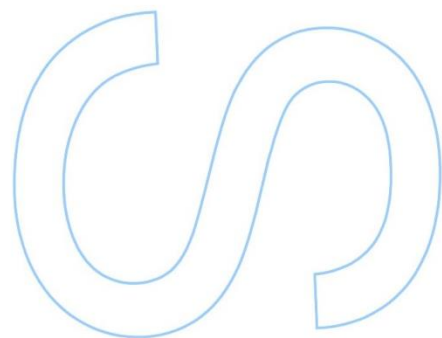
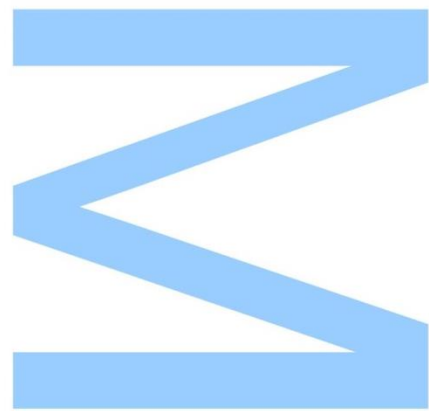
Mestrado em Ecologia e Ambiente

Departamento de Biologia

2017

Orientador

Doutor Mário Boieiro, Investigador de pós-doutoramento, Centro de Ecologia, Evolução e Alterações Ambientais, Universidade dos Açores

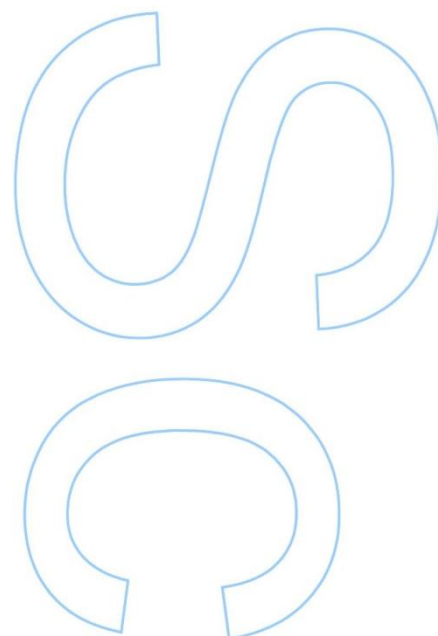
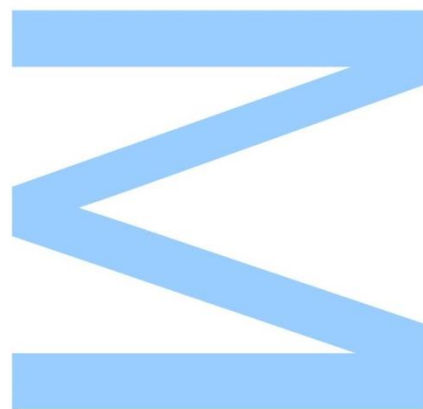




Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer à pessoa que me orientou, o grande investigador Mário Boieiro, com quem aprendi imenso no ano que passou, quem me passou o “bichinho” dos bichos, e não só! Foi uma honra ter tido a oportunidade de “desertar” na companhia de alguém tão sabedor e curioso! No mesmo seguimento quero agradecer à equipa que me acompanhou nesta grande aventura às ilhas: Mafalda (Joaninha), Renata e Carla, porque “2gether” foi bestial. :)

Aproveito para agradecer ao projeto 2gether (PTDC/BIA-BIC/1013/2014) financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT, Portugal), que foi o projeto onde se inseriu esta tese e aos projetos LIFE Recover Natura (LIFE12/NAT/PT/000195) e PTDC/BIABEC/99138/2008, UID/BIA/00329/2013 que cederam alguns dados utilizados nesta tese.

Ao Pedro Cardoso pela ajuda na modelação e ao António Franquinho pela ajuda na identificação de insetos hemípteros, incluindo novas espécies para as Desertas.

Não podia deixar de agradecer aos pilares da conservação da natureza no arquipélago da Madeira, quem trabalha no campo e melhor que ninguém sabe a dureza que são as Desertas. Aos vigilantes da natureza que deram o seu melhor para nos fazer sentir em casa, à boa maneira “maderense”: Pedro Costa, Nélcio Caires, Sérgio Pereira, e claro, ao Isamberto Silva, o grande naturalista nato da Madeira sempre disposto a ajudar em prol do conhecimento científico e da conservação da natureza, sempre com boa disposição.

Ao “pivo quad” obrigada pelas conversas e pelos momentos de grande alegria!

À família do Porto, Mónica e Cu, vocês serão sempre aquele lar que sei que vou ter quando vier à Invicta!

Tinha que agradecer aos pais claro! Sem vocês isto não seria de todo possível. Obrigada por todo o esforço e por tudo o que me proporcionaram. Á avó niza, a minha guerreira!

Um agradecimento apenas não chegaria para ti, peixinho!

Resumo

A formiga-argentina (*Linepithema humile*) é considerada uma das piores espécies invasoras a nível mundial. As ilhas oceânicas, como o arquipélago da Madeira, são locais de biodiversidade notável e são bastante vulneráveis a este tipo de espécies invasoras. Os seus efeitos em zonas urbanizadas, agrícolas e comunidades naturais são bem conhecidos de uma maneira geral, mas é preciso analisar e conhecer cada caso em específico para ser possível controlar os seus impactes.

Neste trabalho analisou-se a distribuição e abundância da formiga-argentina no arquipélago da Madeira, através de dados de armadilhas de *pitfall*. Com esta informação foram produzidos mapas de distribuição e abundância, e procurou-se perceber de que forma a formiga-argentina influencia a comunidade de formigas através de uma análise multivariada. Através de modelos de distribuição de espécies, com base num modelo regional climático e cenários futuros de alteração climática, tentou-se prever qual a distribuição da formiga-argentina na ilha da Madeira a médio e longo-prazo. Estudou-se também os impactes desta espécie invasora nas comunidades naturais, através da análise da atividade diurna, dieta sólida e associações mutualísticas com hemípteros fitófagos (trofobiontes), no Ilhéu Chão, nas ilhas Desertas.

Como principais conclusões, este estudo veio reforçar a ideia que a formiga-argentina se encontra essencialmente, em locais de baixa altitude como zonas costeiras, e se associa a locais perturbados pelo homem. As comunidades de formigas das áreas costeiras invadidas pela formiga-argentina são distintas das áreas não invadidas, sugerindo que esta espécie invasora tem um papel na estruturação das comunidades. Os modelos obtidos preveem um aumento da área de distribuição da espécie invasora a longo-prazo na ilha da Madeira, sendo possível que esta invada outros locais naturais. Este trabalho mostrou também que na primavera foi quando a formiga-argentina esteve mais ativa ao nível do solo, sendo esta a altura em que predou mais insetos adultos e imaturos, incluindo algumas espécies endémicas. Já no verão, a sua dieta parece basear-se sobretudo em melada, proveniente de associações com trofobiontes, muitos deles espécies introduzidas. Com o estudo da biologia e ecologia da formiga-argentina no local e identificação das espécies de fitófagos com que interage e como se associam com as diferentes plantas nativas, obtém-se uma melhor compreensão dos seus impactes e necessidades de medidas de gestão das populações, reforçando que o conhecimento das interações ecológicas é essencial para definir medidas de conservação mais eficazes.

Palavras-chave: formiga-argentina, *Linepithema humile*, invasões biológicas, ilhas oceânicas, arquipélago da Madeira, modelação ecológica, SDM's, alterações climáticas, associações mutualísticas, trofobiontes, conservação da natureza.

Abstract

Argentine ant (*Linepithema humile*) is considered one of the worst invasive species worldwide. Oceanic islands, such as Madeira archipelago, are places of remarkable biodiversity and are quite vulnerable to this type of invasive species. The effects of Argentine ant on urban, agricultural and natural communities are well known in general, but it is necessary to analyze each specific case to be able to control its impacts.

In this work it was analysed the distribution and abundance of the Argentine ant in the archipelago of Madeira, using *pitfall* traps data. With this information, maps of distribution and abundance were produced, and to understand how the Argentine ant influences the ant community, we used multivariate analysis. Through species distribution models, based on a regional climate model and future scenarios of climate change, it was predicted the distribution of the Argentine ant in the island of Madeira in the medium and long term. The impacts of this invasive species on the natural communities, were studied through the analysis of diurnal activity, solid diet and mutualistic associations with phytophagous hemipterans (trophobionts), in Ilhéu Chão, Desertas Islands.

This study supports the idea that the Argentine ant is found mainly in low altitude places such as coastal zones and associated with disturbed sites by humans. The coastal areas invaded by the Argentine ant have distinct ant communities, suggesting that this invasive species may drive the composition and structure of ant communities. The models obtained, predict an increase in the distribution area of the invasive species in the long term on the island of Madeira, being possible that this species invade other natural sites.

This work also showed that Argentine ant was more active at the ground level during the spring, and it was then when it preyed more adult and immature insects, including some endemic species. In the summer, its diet seems to be based mostly on honeydew, from associations with trophobionts, many of them introduced species. The study of Argentine ant biology and ecology *in loco* and identification of the phytophagous species with which interacts and how these are associated with the different native plants, gives a better understanding of its impacts and the need to adopt population management measures. These findings reinforce that the knowledge on ecological interactions is essential for defining effective conservation actions.

Keywords: Argentine ant, *Linepithema humile*, biological invasions, oceanic islands, Madeira archipelago, ecological modeling, SDM's, climate change, mutualistic associations, trophobionts, nature conservation.

Índice

| | |
|--|------|
| Agradecimentos | i |
| Resumo | iii |
| Abstract | v |
| Lista de Figuras | ix |
| Lista de Tabelas | xiii |
| 1. Introdução..... | 1 |
| 1.1. Invasões biológicas | 1 |
| 1.1.1. Invasões biológicas em ilhas: arquipélago da Madeira..... | 1 |
| 1.1.2. Formigas como invasoras | 3 |
| 1.1.3. Invasão pela formiga-argentina, <i>Linepithema humile</i> | 4 |
| 1.1.4. Invasão pela formiga-argentina na Madeira | 9 |
| 1.2. Alterações climáticas, biodiversidade do arquipélago da Madeira e invasões biológicas | 11 |
| 1.3. Objetivos | 13 |
| 2. Material e Métodos | 14 |
| 2.1. Arquipélago da Madeira | 14 |
| 2.1.1. Ilhas Desertas, Ilhéu Chão..... | 15 |
| 2.2. Espécie em estudo: a formiga-argentina (<i>Linepithema humile</i>) | 17 |
| 2.2.1. Ciclo biológico da colónia..... | 18 |
| 2.2.2. Dieta | 18 |
| 2.2.3. Atividade de busca de alimento | 19 |
| 2.2.4. Dinâmica de formigueiros | 19 |
| 2.3. Distribuição e abundância da formiga-argentina no arquipélago da Madeira..... | 20 |
| 2.4. Previsão da distribuição da formiga-argentina no arquipélago da Madeira | 21 |
| 2.4.1 Modelos preditivos de distribuição de espécies | 21 |
| 2.4.2. Conjunto de dados da distribuição de formiga-argentina..... | 22 |
| 2.4.3. Variáveis ambientais | 22 |

| | |
|--|----|
| 2.4.4. Técnicas de modelação: pacote Red e método maxent | 23 |
| 2.4.5 Processo de modelação..... | 24 |
| 2.5. Atividade, dieta e associações mutualísticas da formiga-argentina | 24 |
| 2.5.1. Atividade diurna da formiga-argentina ao nível do solo | 24 |
| 2.5.2. Dieta sólida da formiga-argentina | 25 |
| 2.5.3. Associação mutualística com insetos fitófagos | 26 |
| 3. Resultados..... | 27 |
| 3.1. Distribuição e abundância da formiga-argentina no arquipélago da Madeira | 27 |
| 3.2. Evolução da distribuição da formiga-argentina no arquipélago da Madeira | 29 |
| 3.3. Impacte da formiga-argentina nas comunidades naturais do arquipélago da Madeira | 32 |
| 3.3.1. Atividade diária | 32 |
| 3.3.2. Dieta sólida | 34 |
| 3.3.3. Associações mutualísticas com insetos fitófagos | 36 |
| 4. Discussão | 39 |
| 4.1. Abundância e distribuição da formiga-argentina no arquipélago da Madeira | 39 |
| 4.2. Evolução da distribuição da formiga-argentina no arquipélago da Madeira | 40 |
| 4.3. Impacte da formiga-argentina nas comunidades naturais do arquipélago da Madeira | 41 |
| 4.4. Potenciais medidas de controlo da formiga-argentina no Ilhéu Chão | 45 |
| 5. Conclusões | 47 |
| 6. Referências bibliográficas | 48 |
| 7. Anexos..... | 59 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Distribuição mundial de <i>Linepithema humile</i> . Fonte: Wetterer et al., 2009. ... | 5 |
| Figura 2 - Ataque de obreiras de formiga-argentina a uma espécie nativa (pertencente ao género <i>Pogonomyrmex</i>), na Califórnia, USA. Fonte: Alexander Wild | 6 |
| Figura 3 - Mutualismo de formiga-argentina com cochonilhas em laranjeiras, na Califórnia, USA. Fonte: Alexander Wild | 8 |
| Figura 4 - Composição e localização do arquipélago da Madeira no Oceano Atlântico. Adaptado de: Borges et al. 2008..... | 14 |
| Figura 5 - Séries de vegetação natural potencial da ilha da Madeira. Fonte: Aguiar, 2004. | 15 |
| Figura 6 - Ilhas Desertas. Da esquerda para a direita: Ilhéu Chão, Deserta Grande, Bugio. Fonte: Cândida Ramos | 16 |
| Figura 7 - Vista do farol do Ilhéu Chão. Fonte: Cândida Ramos..... | 16 |
| Figura 8 - Local de estudo, dominado por <i>Artemisia argentea</i> . Fonte: Cândida Ramos | 16 |
| Figura 9 - Rainha (à esquerda) e obreira (à direita) de <i>Linepithema humile</i> . Fonte: Alexander Wild..... | 18 |
| Figura 10 - Distribuição e abundância da formiga-argentina no arquipélago da Madeira. Pontos vermelhos – abundância extremamente elevada (>50% das formigas amostradas), laranja – abundância moderada (25-50% das formigas amostradas), amarelo – abundância reduzida (<25% das formigas amostradas) e verde – ausência. | |

Os nomes das localidades codificadas com números estão discriminados em Anexo II.

..... 27

Figura 11 - Semelhança entre as comunidades de formigas do arquipélago da Madeira com base nos dois eixos principais de uma análise de componentes principais. Estão representadas as comunidades referentes ao andar costeiro (a azul), florestal (a verde) e de altitude (a vermelho), destacando-se as diferenças entre as comunidades costeiras com a presença (a preto) ou ausência (a amarelo) de formiga-argentina. O nome dos locais encontra-se abreviado (Anexo II). 28

Figura 12 - Potencial ocorrência futura da formiga-argentina na ilha da Madeira, através de modelação com base em dados de distribuição mundial. Mapas probabilísticos da distribuição da espécie, variando entre branco (zero probabilidade de ocorrência) e verde (máxima probabilidade de ocorrência), a) na atualidade, b) em 2040 e c) em 2070. Mapas de consenso, de presença (verde) e ausência (branco) da espécie d) na atualidade, e) em 2040 e f) em 2070. 30

Figura 13 - Atividade horária média (e desvio padrão) da formiga-argentina e a sua relação com temperatura média do ar (°C) em a) abril e b) junho. São indicados os valores das correlações da atividade com temperatura e a sua significância..... 32

Figura 14 - Atividade horária média (e desvio padrão) da formiga-argentina e a sua relação com humidade relativa média (%) em a) abril e b) junho. São indicados os valores das correlações da atividade com humidade e a sua significância. 33

Figura 15 – Percentagem dos vários componentes da dieta sólida da formiga-argentina em abril..... 34

Figura 16 - Percentagem dos vários componentes da dieta sólida da formiga-argentina em junho..... 35

Figura 17 - Associações entre formiga-argentina, a) hemípteros fitófagos e b) respetivas plantas hospedeiras. A vermelho – espécie introduzida, a verde escuro – espécie nativa e a verde claro – espécie endémica. Ligações a verde são entre espécies nativas ou endémicas e as ligações a vermelho claro são quando envolve alguma espécie

| | |
|--|----|
| introduzida. Em b) o comprimento de cada faixa representa a abundância relativa de cada planta no Ilhéu Chão. | 38 |
| Anexo III - Análise de grupo das comunidades de formigas do arquipélago da Madeira, onde estão assinaladas: as comunidades referentes ao andar costeiro (a azul), florestal (a verde) e de altitude (a vermelho), destacando-se as comunidades costeiras onde a formiga-argentina é dominante (a amarelo). O nome dos locais encontra-se abreviado (Anexo II)..... | 61 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Variáveis bioclimáticas utilizadas na análise. Fonte: http://www.worldclim.org/ | 23 |
| Tabela 2 - Resultados do modelo de consenso, tendo em conta dados de distribuição mundial. EOO (extensão de ocorrência); AOO (área de ocupação). | 31 |
| Tabela 3 - Espécies de hemípteros encontradas em associação com a formiga-argentina e as suas plantas hospedeiras no Ilhéu Chão (Desertas). É indicado o estatuto de colonização de cada espécie (endémica, nativa ou introduzida) e são assinaladas as espécies novas para as Desertas (*) e para o arquipélago (**). | 37 |
| Anexo I – Espécies de formigas identificadas em vários locais de amostragem no arquipélago da Madeira, usando a técnica de <i>pitfall</i> . As amostras foram recolhidas no âmbito do projeto PTDC/BIA-BEC/99138/2008. | 59 |
| Anexo II – Locais de amostragem onde foi aplicada a técnica de <i>pitfall</i> no arquipélago da Madeira com indicação das suas coordenadas geográficas (em graus decimais) e tipo de habitat, no âmbito do Projeto PTDC/BIABEC/99138/2008. | 60 |
| Anexo IV – Resultados de consenso, tendo em conta os dados de distribuição na ilha da Madeira. EOO (extensão de ocorrência); AOO (área de ocupação). | 62 |
| Anexo V - Total de itens recolhidos pela formiga-argentina. | 63 |
| Anexo VI - Itens de dieta sólida recolhidos pela formiga-argentina, em abril. | 64 |
| Anexo VII - Itens de dieta sólida recolhidos pela formiga-argentina, em junho. | 65 |

1. Introdução

1.1. Invasões biológicas

O processo de introdução e dispersão de organismos vivos, de forma propositada ou acidental, em locais fora da sua área de distribuição natural em que se tornam bem estabelecidos, prolifera sem controle e passa a representar ameaça para espécies nativas e para o equilíbrio dos ecossistemas. Os principais fatores responsáveis pelo aumento global da introdução de espécies são a crescente mobilidade de pessoas, bens e mercadorias (Parker *et al.*, 1999; Simberloff, 2004). As atividades humanas, para além de contribuírem para a dispersão das espécies, levando-as até locais longínquos do seu local nativo e outrora pouco acessíveis, podem também levar à transformação e degradação de habitats naturais, tornando-os suscetíveis de serem invadidos (e.g. Rose, 1997; Silva e Smith, 2004).

Segundo a União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN, 2017: <https://www.iucn.org/regions/europe/our-work/invasive-alien-species>), normalmente as espécies invasoras não possuem predadores naturais e competidores diretos na área que invadem, por isso podem reproduzir-se rapidamente e com sucesso, dispersar-se e estabelecer-se, dominando a área em questão e causando efeitos negativos nas espécies nativas e nos processos ecológicos naturais. Vários estudos têm demonstrado que as espécies invasoras são responsáveis por perdas consideráveis de biodiversidade, com impactes consideráveis na composição e estrutura das comunidades invadidas e alterações nos serviços dos ecossistemas (Clavero e Brotons, 2010). Por estas razões, as invasões biológicas são, juntamente com a destruição dos habitats naturais e as alterações climáticas, um dos principais fatores que contribui para a atual crise de biodiversidade (Bellard *et al.*, 2012; Simberloff *et al.*, 2013). Para além do grave problema à escala global dados os impactes negativos nos ecossistemas e recursos naturais, as invasões biológicas afetam também os setores agrícola, florestal, veterinário e da saúde pública com elevado significado económico (Simberloff *et al.*, 2013).

1.1.1. Invasões biológicas em ilhas: arquipélago da Madeira

As ilhas oceânicas são ecossistemas únicos em termos de biodiversidade (não só ao nível de espécies, mas também dos habitats) e apresentam um elevado valor para a conservação da natureza. Devido ao seu elevado número de endemismos, existência de linhagens evolutivas únicas e casos notáveis de radiação evolutiva, contribuem

desproporcionalmente para a biodiversidade mundial (Whittaker e Fernández-Palacios, 2007). Apesar da sua biodiversidade extraordinária, as ilhas são ecossistemas vulneráveis uma vez que muitas das espécies endémicas ocorrem apenas numa única ilha, frequentemente numa área restrita e evoluíram na ausência de predadores e competidores (Whittaker e Fernández-Palacios, 2007). A maioria das extinções ocorreram em ilhas e muitas espécies hoje ameaçadas são também insulares (Sax *et al.*, 2002).

O arquipélago da Madeira, juntamente com os outros arquipélagos da Macaronésia, estão incluídos no *hotspot* de biodiversidade mediterrânico, um dos mais importantes a nível mundial (Myers *et al.*, 2000). As ilhas da Macaronésia apresentam uma biodiversidade específica notável, preservando espécies que apesar de terem apresentado uma maior distribuição no passado, hoje não se encontram em mais nenhum lugar (paleoendemismos), mas também outras que aí se diferenciaram (neoendemismos) (Whittaker e Fernández-Palacios, 2007). Desde a colonização humana do arquipélago da Madeira, iniciada no século XV, que a destruição e fragmentação dos habitats naturais, assim como a introdução deliberada e acidental de espécies exóticas, particularmente as de carácter invasor, levaram a várias extinções de espécies no passado (Goodfriend *et al.*, 1994; Rando *et al.*, 2012). Porém, também recentemente se deu a extinção da borboleta Grande-Branca da Madeira (*Pieris wollastoni*) muito provavelmente como consequência da introdução da sua congénere (*P. rapae*) e diversas outras espécies endémicas não voltaram a ser registadas nos últimos 50 anos.

Neste arquipélago são evidentes os graves danos causados por cabras e coelhos na vegetação natural, com impacte negativo na composição e estrutura da vegetação e nas propriedades dos solos. Diversas espécies invasoras de plantas (como *Acacia* spp., *Ageratina adenophora*, *Carpobrotus edulis*, *Cytisus* spp., *Nicotiana glauca*) têm também contribuído para a regressão das populações de plantas endémicas, alterando ainda as condições abióticas das áreas invadidas. As autoridades regionais conduzem desde há vários anos projetos de controlo/erradicação de plantas e vertebrados invasores com diferente grau de sucesso, a par de ações de restauro ecológico com a plantação de espécies nativas em áreas ardidas ou anteriormente invadidas por espécies exóticas (Oliveira *et al.*, 2010; <https://ifcn.madeira.gov.pt/biodiversidade/projetos/controlo-de-plantas-invasoras.html>). A identificação das espécies invasoras mais problemáticas, a par da definição de métodos de controlo populacional constituiu um importante passo para a conservação da natureza no arquipélago da Madeira (Silva e Rodríguez, 2008).

1.1.2. Formigas como invasoras

Embora mais discretas, as espécies invasoras de invertebrados constituem também uma grande ameaça para a biodiversidade nativa. Os seus efeitos podem ser bastante consideráveis, como aconteceu com a introdução de um caracol predador (*Euglandina rosea*), o qual foi responsável pela extinção de mais de uma centena de espécies endémicas de ecossistemas insulares (Régnier *et al.*, 2009).

As formigas são um componente extremamente importante de quase todos os ecossistemas terrestres, sendo diversas e abundantes, e participando numa grande variedade de associações com plantas e com outros animais (Beattie, 1985; Holway *et al.*, 2002).

Diversas espécies de formigas são consideradas muito problemáticas como invasoras e três delas (*Anoplolepis gracilipes*, *Linepithema humile*, *Solenopsis invicta*) constam da lista das piores espécies invasoras a nível mundial (Lowe *et al.*, 2000; http://www.issg.org/worst100_species.html). O seu grande sucesso deve-se ao seu elaborado comportamento social, à capacidade de formarem supercolónias que ocupam múltiplos formigueiros e possuem múltiplas rainhas (poligínicas), e também à capacidade de estabelecerem relações mutualísticas generalizadas com plantas e insetos que, em troca de proteção, lhes fornecem alimento rico em carboidratos, que possui efeitos importantes no tamanho da colónia, atividade e habilidade competitiva das formigas (Holway *et al.*, 2002; Kay *et al.*, 2010; Lach *et al.*, 2010).

Outra vantagem que possuem é o facto de se associarem às populações humanas ou a habitats modificados, o que facilita o seu estabelecimento e a sua dispersão para novas áreas inadvertidamente pela atividade humana (Blancafort e Gómez, 2005; Estany-Tigerström *et al.*, 2010; Gómez *et al.*, 2003; Lach, 2008).

Os impactes das formigas invasoras são bem conhecidos e têm vindo a ser progressivamente documentados. Estas espécies predam e competem com espécies nativas de invertebrados e vertebrados, alterando a composição e estrutura das comunidades, interferem em processos ecológicos importantes (como a polinização e a dispersão de sementes) e facilitam o estabelecimento de outras espécies introduzidas com que se associam (Blancafort e Gómez, 2005; Estany-Tigerström *et al.*, 2010; Gómez *et al.*, 2003; Lach, 2008; Suarez *et al.*, 2005).

Porém, em ilhas, os seus efeitos na biodiversidade normalmente são catastróficos, traduzindo-se em várias extinções locais de organismos invertebrados, como tem sido reportado de vários arquipélagos (Wetterer e Espadaler, 2010). As ilhas da Macaronésia

foram também invadidas por espécies de formigas, que a par do seu impacto nos ecossistemas naturais, tiveram também impactos socioeconómicos consideráveis, chegando a haver relatos de ataques a pessoas (Wetterer *et al.*, 2007; Wetterer e Espadaler, 2010).

1.1.3. Invasão pela formiga-argentina, *Linepithema humile*

A formiga-argentina, é uma espécie subtropical nativa da América do Sul central (Tsutsui *et al.*, 2001), mais precisamente da bacia do Rio Paraná (Wild, 2004). Esta tem sido introduzida por todos os continentes e ilhas oceânicas com ligação a atividades comerciais, especialmente em zonas com clima mediterrânico e subtropical (Suarez *et al.*, 2001). As condições preferenciais em locais invadidos são habitats parcialmente perturbados, onde ocorrem invernos amenos e verões quentes (de 10 a 40°C), solos húmidos, e recursos permanentes de água (Human *et al.*, 1998; Ward, 1987). A sua distribuição atual inclui África do Sul, Austrália, América do Norte e do Sul, bacia do Mediterrâneo, Japão, e vários arquipélagos oceânicos (figura 1) (Roura-Pascual *et al.*, 2004; Wetterer *et al.*, 2009). O estudo de exemplares de coleções entomológicas sugere que a formiga-argentina ter-se-á dispersado pela região Mediterrânica através da Madeira e Portugal (Wetterer e Wetterer, 2006; Wetterer *et al.*, 2006). Mais tarde esta espécie dispersou-se pelo sul da Europa, norte de África e centro da zona mediterrânica. Pouco depois de se dispersar pelo sul da Europa, a espécie começou a ser detetada em vários países da Europa Central associada a ambientes urbanos. A latitude mais alta em que foi observada foi na Noruega, em habitações, pois junto ao Homem a espécie consegue sobreviver em qualquer local (Wetterer *et al.*, 2009).

A dispersão da formiga-argentina pode ocorrer por dois processos: fissão da colónia ou “dispersão por salto”. No primeiro caso, a colónia uma vez estabelecida, produz rainhas inseminadas que abandonam os formigueiros de origem na companhia de outras obreiras e larvas, e formam novos ninhos nas proximidades. O processo de “dispersão por salto”. envolve o transporte de colónias pelos humanos, sendo esta a forma predominante de dispersão (Suarez *et al.*, 2001), ou pela formação de “jangadas de formigas” em meio aquático (Holway *et al.*, 2002), que permite que as colónias se dispersem em contexto de inundações, fenómeno mais frequente em ambientes tropicais (Heller *et al.*, 2008). Esta espécie tem a vantagem de as suas obreiras, embora estéreis, conseguirem cuidar de ovos ou larvas desde estádios iniciais até fases sexuais, gerando colónias viáveis mesmo na ausência de rainhas (Holway *et al.*, 2002; Passera *et al.*, 1988).

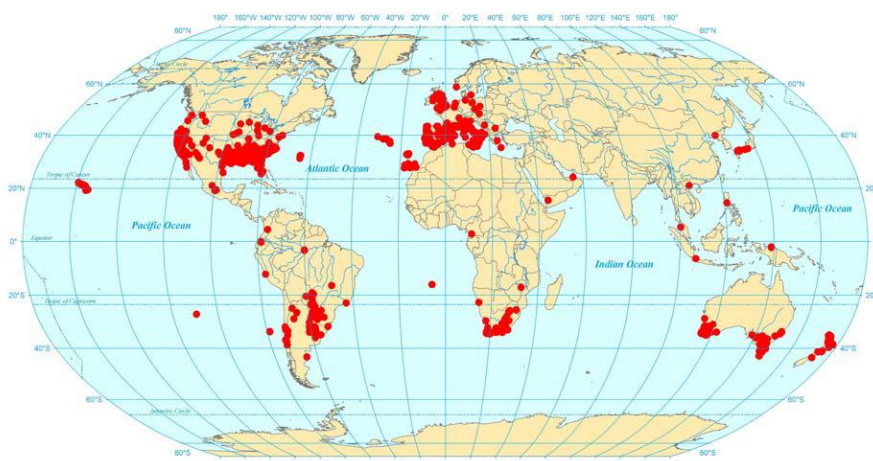


Figura 1 - Distribuição mundial de *Linepithema humile*. Fonte: Wetterer *et al.*, 2009.

Ao contrário do comportamento em habitat nativo, podendo ser multicolonial ou unicolonial, esta espécie forma supercolónias nas áreas invadidas. Esta organização social faz com que rainhas e obreiras se misturem livremente entre formigueiros, sem que haja agressão intraespecífica, permitindo que atinjam grandes densidades de obreiras e aumento da agressão interspecífica em relação às espécies nativas, e também uma exploração dos recursos de forma mais eficaz (Holway e Suarez, 2004). Este fenómeno resultou de uma perda de diversidade genética durante o processo de introdução e estabelecimento (Tsutsui *et al.*, 2000, 2001). Estudos de agressividade entre populações mostram que existem duas supercolónias distintas: a principal (“the Main”), com uma grande abrangência territorial, que se estende desde a Macaronésia, Portugal continental, Espanha, sul de França e Itália, até à Califórnia e Japão (Sunamura *et al.*, 2009), e a Catalã (“the Catalanian”) com uma distribuição restrita na zona este de Espanha (Wetterer e Wetterer, 2006).

Os principais fatores que contribuíram para o sucesso da invasão da formiga-argentina a nível global são os seus hábitos generalistas e adaptabilidade a novos ambientes, bem como a sua associação a atividades e habitats modificados pela espécie humana (Roura-Pascual *et al.*, 2011).

A formiga-argentina é considerada uma das piores espécies invasoras pela UICN, integrando o top 100 das espécies mais invasoras do mundo devido aos seus importantes efeitos não só em comunidades naturais como em atividades humanas (Lowe *et al.*, 2000). Em atividades agrícolas, esta espécie interfere na associação de hemípteros-planta levando à criação e potenciação de pragas, principalmente em árvores de citrinos e vinhas (Daane *et al.*, 2007). Como peste urbana, a formiga-

argentina é observada em habitações e noutro tipo de edifícios (Gordon *et al.*, 2001), onde pode causar estragos nos produtos alimentares, e representar um perigo de saúde pública, uma vez que formigas são portadoras de patógenos causadores de doenças (Fowler *et al.*, 1993).

1.1.3.1. Impacte em comunidades naturais e em interações bióticas

a) Impacte em espécies nativas de formigas e noutros artrópodes terrestres

As formigas nativas são provavelmente a primeira comunidade animal a sofrer com a invasão da formiga-argentina (Gómez e Oliveras, 2003). Esta além de atingir uma grande vantagem numérica em termos de indivíduos, o que faz com que monopolize os recursos disponíveis, tem também um comportamento agressivo perante as outras espécies. Embora a formiga-argentina seja relativamente pequena em relação a muitas das formigas nativas, ela é uma melhor competidora, levando à redução ou até eliminação das nativas no habitat que invade (figura 2) (Carpintero e Reyes-López, 2008; Holway, 1999). Conhecem-se casos em que a formiga-argentina causou extinções locais e grandes reduções nas abundâncias das formigas nativas na Califórnia (Holway, 1998), Havai (Cole *et al.*, 1992), África do Sul (Christian, 2001) e Japão (Touyama *et al.*, 2003).



Figura 2 - Ataque de obreiras de formiga-argentina a uma espécie nativa (pertencente ao género *Pogonomyrmex*), na Califórnia, USA.
Fonte: Alexander Wild

A formiga-argentina perturba igualmente as comunidades de artrópodes de várias maneiras. Um estudo no Havai, mostrou que os artrópodes por ela afetados podem ser potenciais competidores (e.g. aranhas e escaravelhos carabídeos), e outros potenciais presas (e.g. colêmbolos, lagartas, larvas de vários grupos de insetos). Nesta ilha oceânica não existiam formigas antes da invasão pela formiga-argentina mas esta

possuía uma comunidade de artrópodes endémicos raros que sofreram uma grande redução na presença deste inseto social invasor (Cole *et al.*, 1992).

b) Impacte em vertebrados

A formiga-argentina também pode, por vezes, de alguma forma interferir com vertebrados. Conhecem-se impactes diretos em aves como a predação, e indiretos, por exemplo limitando recursos tróficos (Estany-Tigerström *et al.*, 2010; Suarez *et al.*, 2005). Embora esta espécie não seja considerada uma ameaça séria no sucesso reprodutivo de algumas aves comparando com alguns predadores ou parasitas, a invasão pela formiga-argentina em algumas situações pode ter impactes negativos. Estudos mostram que em locais invadidos pela formiga-argentina cerca de 2% dos ninhos foram afetados diretamente por predação pela formiga (Suarez *et al.*, 2005). No entanto, os seus efeitos indiretos, ainda que pouco estudados, sabe-se que podem ser muito mais graves. Esta espécie contribui para a redução da abundância de invertebrados nativos, e por isso afeta também a disponibilidade de alimento das aves insectívoras (Estany-Tigerström *et al.*, 2010). Por exemplo, o decréscimo populacional do lagarto-cornudo (*Phrynosoma coronatum*) no sul da Califórnia deveu-se ao facto de ter sido forçado a alterar a sua dieta, uma vez que a formiga-argentina conduziu ao desaparecimento de muitas das suas presas habituais (Suarez *et al.*, 2000). Nas ilhas Desertas, local onde existe a maior comunidade de alma-negra (*Bulweria bulweri*), no oceano Atlântico (Catry *et al.*, 2014), foi observado o potencial da formiga-argentina em predação direta de crias desta ave marinha (e de outras 3 espécies). Embora este fenómeno de predação direta ocorra esporadicamente nestas ilhas, observou-se que o sucesso reprodutivo da alma-negra foi menor em 2014-16 comparando com 1994-97 (quando não estava detetada formiga-argentina nas Desertas), levando a especular que a introdução desta espécie tenha influência nesta diminuição (Boiero *et al.*, submetido).

c) Impacte em processos ecológicos e interações bióticas

Muitas plantas oferecem uma fonte de alimento rico em carboidratos, através de nectários extraflorais (EFN), que atrai formigas e outros artrópodes carnívoros, que funcionam como predadores de herbívoros (Ness e Bronstein, 2004). A formiga-argentina é uma das espécies atraídas por estes EFN e estudos comprovam que a sua presença em flores não só reduz o tempo que cada inseto polinizador visita a planta, como também reduz a abundância e a diversidade de visitantes, levando a uma redução

no sucesso reprodutivo da planta (Blancafort e Gómez, 2005; Hanna *et al.*, 2015a; Lach, 2008). Para além disso, a formiga-argentina é considerada como polinizador pouco eficaz e por isso não desempenha o mesmo papel que as espécies nativas que excluem (Beattie, 1985; Blancafort e Gómez, 2005).

Por outro lado, a formiga-argentina pode também ser atraída para as plantas se nestas existirem hemípteros herbívoros como afídeos e cochonilhas com quem ela mantém uma relação de mutualismo (figura 3). Nestas associações a formiga-argentina protege os hemípteros (trofobiontes) dos seus predadores e parasitóides e transporta-os para plantas hospedeiras favoráveis, recebendo em troca o composto por eles produzido, rico em carboidratos e aminoácidos – a melada (Daane *et al.*, 2007; Ward, 1987; Way, 1963). Este mutualismo é normalmente facultativo e altamente condicional, uma vez que as formigas podem sempre predaar os trofobiontes, dependendo do esforço de manutenção da interação ou da necessidade nutricional da colónia (Ness e Bronstein, 2004). Este mutualismo normalmente leva a um aumento da abundância dos herbívoros produtores de melada, até se tornarem verdadeiras pragas, comprometendo a viabilidade e o sucesso reprodutor da planta e conduzindo a um desequilíbrio do sistema (Holway *et al.*, 2002; Nygard *et al.*, 2008). Por outro lado, a presença dos trofobiontes em plantas aumenta a atividade da formiga assim como o seu comportamento agressivo e de predador em relação à comunidade de artrópodes nativos associada a essa planta (Grover *et al.*, 2008; LeVan e Holway, 2015).



Figura 3 - Mutualismo de formiga-argentina com cochonilhas em laranjeiras, na Califórnia, USA. Fonte: Alexander Wild

As sementes de plantas que são dispersadas por formigas (mirmecócoras), apresentam uma estrutura rica em lípidos, o elaiossoma, que as atrai para que estas as transportem (Brew *et al.*, 1989). As formigas funcionam como agentes dispersores destas sementes para longe da planta-mãe, contribuem para a sua proteção contra predadores (como roedores) ou do fogo, levando as sementes para dentro do formigueiro, onde encontram condições para germinarem (Beattie, 1985). Este tipo de mutualismo entre formigas e plantas tem um papel fundamental na manutenção da estrutura e diversidade das comunidades de plantas (Christian, 2001). No entanto, a introdução da formiga-argentina neste tipo de ecossistemas, poderá romper indiretamente com este mutualismo ao excluir espécies de formigas nativas encarregues de realizar esta importante tarefa (Carney *et al.*, 2003; Espadaler e Gomez, 1997; Gómez e Oliveras, 2003). A formiga-argentina é, de um modo geral, pouco atraída pelas sementes de plantas mirmecócoras (Gómez e Oliveras, 2003) e revela também ser uma fraca dispersora de sementes por transportá-las a curtas distâncias e não as levar para o formigueiro, deixando-as expostas na superfície a predadores e ao fogo e sem condições de germinarem. Para além disso, estudos mostram que a formiga-argentina nem sempre remove o elaiossoma da semente dentro do formigueiro, ação importante para que a semente germine (ver Gómez *et al.*, 2003). Por estas razões, a formiga-argentina constitui uma grande ameaça à comunidade de plantas que está dependente desta interação mutualística (Carney *et al.*, 2003; Christian, 2001; Gómez e Oliveras, 2003; Gómez *et al.*, 2003).

Estudos sugerem que a preservação de interações mutualísticas entre espécies nativas é essencial para a manutenção das comunidades naturais, mas a invasão pela formiga-argentina tem vindo a afetar fortemente os processos ecológicos dos ecossistemas que invade comprometendo a sua estabilidade (Christian, 2001; Gómez e Oliveras, 2003; Gómez *et al.*, 2003).

1.1.4. Invasão pela formiga-argentina na Madeira

A partir da descoberta da ilha da Madeira, os colonos portugueses começaram a introduzir intencionalmente diferentes espécies de plantas e animais de outros locais para cultivo e produção de gado, não só para a sua subsistência básica na ilha, como para fins comerciais. Com isto chegaram também acidentalmente outros organismos que se dispersaram e estabeleceram (Queiroz e Alves, 2016). A partir do século XVI, a Madeira tornou-se numa paragem regular nas rotas transatlânticas. No século XIX era além disso um local de repouso e recuperação da tuberculose principalmente para

estrangeiros britânicos, que com isto começaram a importar, comercializar os bens locais, investir na agricultura e artesanato local (Câmara, 2002; Queiroz e Alves, 2016; Vieira, 2003).

Na última década do século XIX, a formiga-argentina era já uma verdadeira praga pública. Pensa-se que esta explosão populacional de formiga-argentina tenha estado relacionada com a chegada de uma nova espécie mutualística de hemíptero ou até mesmo uma nova variedade de plantaçoão que serviu de melhor hospedeiro para um inseto mutualista já existente na Madeira (Wetterer *et al.*, 2006). Esta praga causou estragos enormes não só na economia turística da altura, como na agricultura, nas plantaçoões de cana-de-açúcar, vinhas e árvores de fruto (Queiroz e Alves, 2016). A invasão gerou preocupação junto de toda a população e aí surgiu a oportunidade de a indústria de inseticidas fazer negócio. A composição dos produtos variava bastante, chegando até a ser utilizado DDT, mas sem sucesso. Foram sempre ignorados os possíveis impactes que estes produtos poderiam ter no ambiente e na saúde pública (Queiroz e Alves, 2016). Em 1947 a espécie foi considerada como “o mais sério problema para a agricultura e talvez o mais sério problema para toda a economia da Madeira” (Queiroz e Alves, 2016). No entanto, houve quem achasse que a presença da formiga-argentina trazia alguns benefícios por prever o clima e por ser predadora de larvas de vespas e lagartas de uma traça, peste da cana-de-açúcar (Queiroz e Alves, 2016).

No entanto, nos anos 90 descobriu-se que esta espécie já não estava apenas confinada às zonas costeiras humanizadas e já tinha começado a colonizar habitats naturais, como na zona do Curral das Freiras. Embora já se soubesse da sua existência antes, em 2003 cientistas e autoridades de conservação identificaram a presença da formiga-argentina nas ilhas Desertas, na Deserta Grande e Ilhéu Chão, local de reserva natural desde 1990 e incluído na Rede Natura 2000. Recentemente, a formiga-argentina foi detetada no ilhéu do Farol, num pequeno ilhéu ao largo de Porto Santo, na área de distribuição de moluscos terrestres de grande prioridade de conservação (Queiroz e Alves, 2016).

No entanto, Wetterer *et al.* (2006) têm uma visão mais otimista e relatam que a espécie é bastante incomum na Madeira, exceto na zona este da ilha (Ponta de São Lourenço) e em Porto Santo. Fora destas áreas bastante secas, esta espécie restringe-se a áreas urbanas e agrícolas altamente perturbadas e onde a formiga nativa *Lasius grandis* que com ela compete, está ausente. Segundo estes autores a formiga-argentina ter-se-á apenas dispersado até 10% da ilha da Madeira e mesmo no seu pico de

densidade populacional, terá tido impacte em espécies nativas apenas numa pequena porção da Madeira (Wetterer *et al.*, 2006). Declaram ainda que não foram encontradas evidências de grandes impactes a longo-termo desta formiga em espécies nativas da Madeira, encontrando-a em associação com espécies nativas de formigas, incluindo *Monomorium carbonarium*, *M. subopacum* e *Plagiolepis schmitzii* (Wetterer *et al.*, 2007).

1.2. Alterações climáticas, biodiversidade do arquipélago da Madeira e invasões biológicas

Acredita-se que as alterações climáticas venham a ser uma das maiores ameaças para a biodiversidade este século. A biodiversidade insular é muito vulnerável às alterações climáticas não só devido ao elevado grau de endemismos que alberga, isolamento das populações, mas também à sua vulnerabilidade a fatores como as espécies invasoras. As ilhas, como o arquipélago da Madeira, são espaços limitados geograficamente, muito dependentes das áreas costeiras e recursos naturais, particularmente vulneráveis aos impactes das alterações climáticas, sendo a sua capacidade de adaptação bastante condicionada (Ferreira *et al.*, 2016; Heller *et al.*, 2008).

No âmbito do projeto CLIMAAT II (Santos e Aguiar, 2006), foi feita uma avaliação regional dos impactes das alterações climáticas nos ecossistemas terrestres do arquipélago da Madeira. Foi desenvolvido um modelo climático regionalizado para a Região Autónoma da Madeira (RAM), o CIELO (Miranda *et al.*, 2006). Este modelo foi obtido através do modelo global de circulação atmosférica HadCM3, baseado em dois cenários socioeconómicos SRES (Special Report Emission Scenarios) de emissões globais de gases de efeito de estufa: A2 e B2. O cenário A2 é o que descreve maior crescimento populacional, desenvolvimento económico lento, mudança lenta no uso de tecnologia antiga, sendo o cenário mais pessimista em relação à libertação de gases de efeitos de estufa, e por isso o que representa a mais grave alteração climática (Intergovernmental panel on climate change - IPCC, 2007). Foram produzidos cenários climáticos para os períodos 1961–1990, 2040–2069 e 2070–2099 (Cruz *et al.*, 2009). Este estudo revela para a RAM uma subida da temperatura média entre 2 a 3°C. Quanto à precipitação, preveem-se reduções significativas no Outono, Inverno e Primavera calculando-se a perda de um terço da precipitação atual, até ao fim do século XXI. Um estudo sobre os impactes das alterações climáticas nos ecossistemas da Madeira baseado nos resultados do CLIMAAT II, sugere que matos e outra vegetação de altitude

sofram uma diminuição da área e a longo prazo, possam ser totalmente substituídos. A fauna associada a esta vegetação poderá sofrer também uma diminuição semelhante, e espécies endémicas e raras poderão vir mesmo a desaparecer. No entanto, há possibilidade que a Laurissilva e a biota associada possam sofrer um impacte positivo, uma vez que se prevê que possam vir a ocupar áreas de maior altitude (Cruz *et al.*, 2009).

Um relatório do estudo sobre as vulnerabilidades e respostas às alterações climáticas no Arquipélago da Madeira (Clima-Madeira) (Cruz *et al.*, 2014), com base nos resultados da modelação bioclimática produzida no estudo CLIMAAT II, sobre o setor da biodiversidade, mostra que os grupos com mais espécies identificadas como vulneráveis às alterações climáticas foram os briófitos, plantas vasculares e moluscos terrestres. As espécies endémicas serão as mais afetadas tendo em conta que apresentam baixos efetivos populacionais em áreas de distribuição limitadas e com nichos ecológicos muito específicos (Cruz *et al.*, 2014).

Relativamente à formiga-argentina, em contexto de alterações climáticas, prevê-se uma redução das áreas de distribuição nos trópicos, mas por outro lado, uma forte expansão em áreas de maior latitude (Roura-Pascual *et al.*, 2004).

Também na Madeira se prevê que a formiga-argentina venha a beneficiar das alterações climáticas a longo prazo, uma vez que se estima o aumento de temperatura e da área dos habitats costeiros e mesófilos, esperando-se que esta acompanhe estas alterações e aumente a sua área de distribuição (Cruz *et al.*, 2014).

A biodiversidade das ilhas é extremamente vulnerável às invasões biológicas e prevê-se que as alterações climáticas potenciem este fenómeno (Cruz *et al.*, 2009). É expectável que as alterações climáticas beneficiem as espécies invasoras ao tornar o clima mais adequado às suas exigências e por outro lado enfraqueçam a resistência biótica das comunidades nativas (Bellard *et al.*, 2012). Em conjunto, a invasão de espécies e as alterações climáticas são reconhecidas como das mais importantes causas de perda de biodiversidade, razão que motiva o desenvolvimento de esforços para antecipar essas potenciais perdas e identificar medidas de combate às consequências das alterações climáticas (Bellard *et al.*, 2012; Simberloff *et al.*, 2013).

1.3. Objetivos

Os objetivos deste trabalho focam-se em (1) conhecer a distribuição da formiga-argentina no arquipélago da Madeira e analisar como se prevê ser a sua distribuição em função das alterações climáticas, (2) estudar a atividade de busca de alimento pela formiga-argentina, a sua dieta e as suas interações ecológicas com outros organismos e por último (3) propor medidas de gestão das populações da formiga-argentina.

2. Material e Métodos

2.1. Arquipélago da Madeira

O arquipélago da Madeira está localizado na região subtropical do Oceano Atlântico, na sub-região biogeográfica da Macaronésia, juntamente com os arquipélagos das Selvagens, Açores, Canárias, Cabo Verde e parte da costa noroeste africana (figura 4). O arquipélago da Madeira é constituído por duas ilhas principais habitadas, a ilha da Madeira (com 742 km² e 1861 m de altitude máxima) e a ilha de Porto Santo (com 43 km² e 517 m de altitude máxima), estando esta última rodeada por seis ilhéus. A sudeste da Madeira encontram-se as Desertas, constituídas por três pequenas ilhas: o Ilhéu Chão (com 0,5 km² e 100 m de altitude máxima), a Deserta Grande (com 10 km² e 479 m de altitude máxima) e o Bugio (com 3 km² e 388 m de altitude máxima) (figura 4) (Borges *et al.*, 2008b).

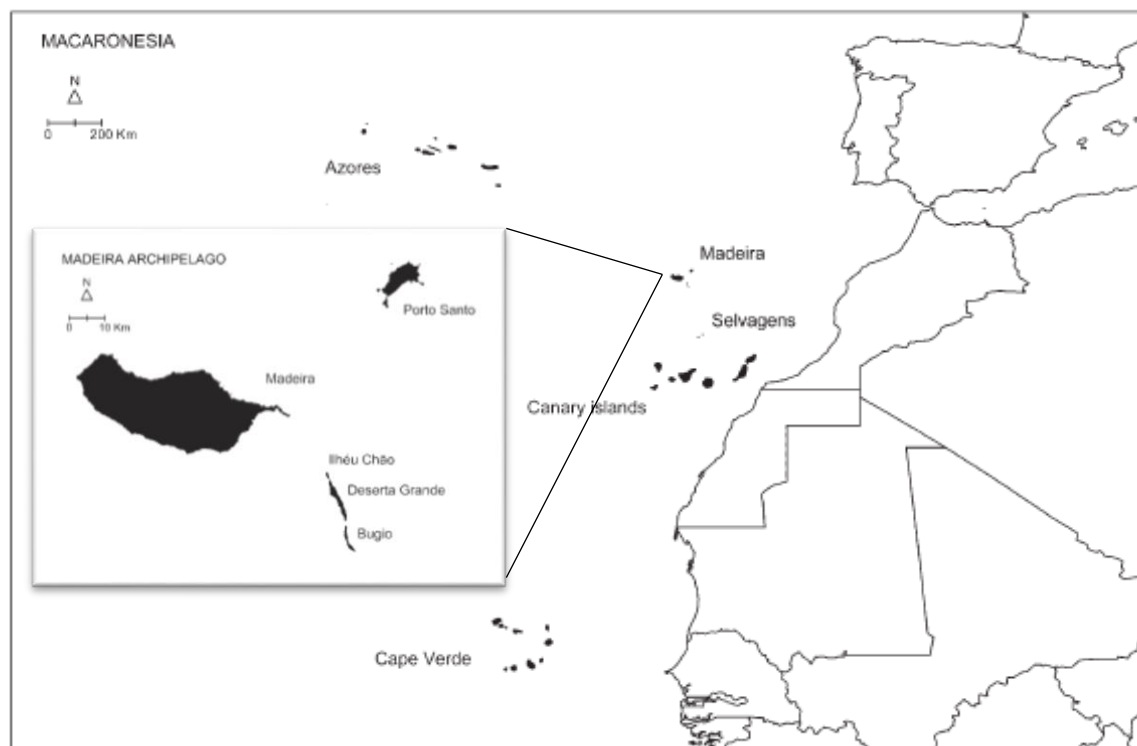


Figura 4 - Composição e localização do arquipélago da Madeira no Oceano Atlântico. Adaptado de: Borges *et al.* 2008

Na Madeira, a ilha principal do arquipélago, a maior parte da população vive na encosta sul e ao longo das zonas costeiras de toda a ilha. Esta ilha possui uma topografia íngreme, com altas montanhas a chegar aos 1800 metros de altitude na zona

este. A oeste destas formações, existe um planalto acima dos 1400 metros. A ilha apresenta dois tipos de clima principais: mediterrânico e temperado. As temperaturas médias anuais variam entre os 18 e 19 °C nas zonas costeiras, embora nos picos mais altos estas se mantenham próximo dos 9 °C (Cruz *et al.*, 2009). Pela sua localização, orografia e vegetação natural, a ilha da Madeira apresenta uma grande variedade de microclimas. Na zona sul, até cerca de 1000 metros de altitude e nas encostas mais baixas da zona norte, o clima exibe uma secura estival durante os meses de verão, onde ocorrem bosques xerofíticos (zambujal) ou Laurissilva mediterrânica do barbusano (figura 5). A partir dos 1000 metros, na encosta sul e na maioria da encosta norte, a precipitação é bem distribuída ao longo do ano (devido à persistência de uma cobertura de nuvens da qual resulta precipitação direta), não apresenta seca estival, constituindo um clima temperado. A floresta aqui existente corresponde a florestas de sub-bosque muito rico, a Laurissilva do til (figura 5) (Aguar *et al.*, 2004; Borges *et al.*, 2008b).

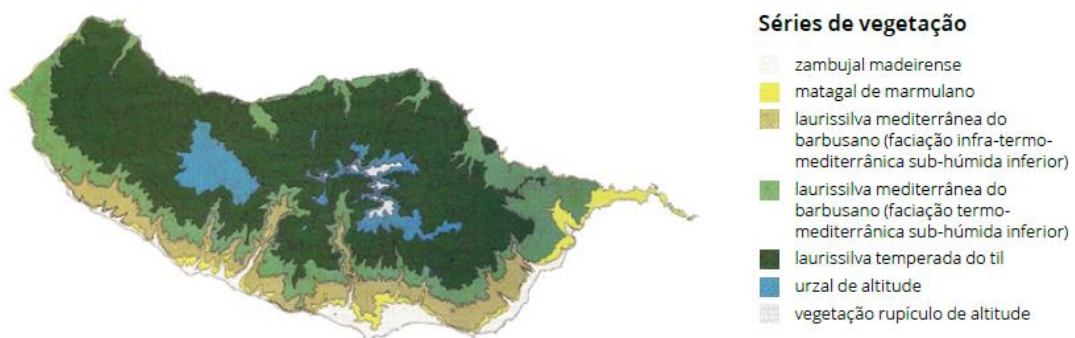


Figura 5 - Séries de vegetação natural potencial da ilha da Madeira. Fonte: Aguiar, 2004.

2.1.1. Ilhas Desertas, Ilhéu Chão

As ilhas Desertas são um grupo de três ilhas de origem vulcânica, situadas no prolongamento da Ponta de São Lourenço, a uma distância de cerca de 19 km. As ilhas Desertas estão sujeitas a um clima predominantemente temperado oceânico, as amplitudes térmicas do ar são pequenas ao longo do ano e as precipitações são pouco abundantes (figura 6) (Menezes *et al.*, 2005).

As ilhas Desertas apresentam um Património Natural rico com raras formações geológicas, habitats raros e diversas espécies endémicas. Dado os seus importantes valores naturais, estas ilhas encontram-se legalmente protegidas desde 1990, tendo sido classificadas como Reserva Natural em 1995, com o propósito de melhor proteger

uma pequena colónia de Lobos-marinhos (foca mais rara do mundo). Em 1992 foram classificadas como Reserva Biogenética pelo Conselho da Europa e desde 2001 são um Sítio da Rede Natura 2000 (Menezes *et al.*, 2005).

As Desertas foram alvo de várias tentativas de colonização pelo Homem, mas devido à sua aridez e inexistência de água doce, nunca foram habitadas. No entanto, estas foram exploradas para a criação de gado e de aves e cultivo de cereais para manter os pastos. Isto fez com que a vegetação natural e a diversidade de flora fosse alterada e reduzida, acelerando o processo de erosão do solo (Menezes *et al.*, 2005).

O Ilhéu Chão é a mais pequena das três, formando um planalto com uma altitude quase constante de 80 metros, atingindo os 98 metros no extremo norte, onde existe o farol (figura 7).



Figura 6 - Ilhas Desertas. Da esquerda para a direita: Ilhéu Chão, Deserta Grande, Bugio. Fonte: Cândida Ramos



Figura 7 - Vista do farol do Ilhéu Chão. Fonte: Cândida Ramos



Figura 8 - Local de estudo, dominado por *Artemisia argentea*. Fonte: Cândida Ramos

Apresenta uma vegetação em bom estado de conservação, possui vários endemismos que ocupam uma área considerável, como Jasmineiros-amarelos (*Jasminum odoratissimum*), arbusto endémico da ilha da Madeira e das Canárias, e núcleos de Zambujeiros (*Olea europaea* ssp. *maderensis*). Ocorrem alguns mosaicos de vegetação, respetivamente dominados por Losna (*Artemisia argentea*), *Suaeda vera*, Goivo-da-rocha (*Matthiola maderensis*), *Crambe fruticosa*, Iscas (*Phagnalon hansenii*), Almeirante (*Crepis divaricata*) e *Asphodelus fistulosus*. Nas falésias existe uma grande diversidade de endemismos da ilha da Madeira e Macaronésia tais como: *Wahlenbergia lobelioides* ssp. *lobelioides*, o Visco (*Tolpis succulenta*), a Leituga (*Sonchus ustulatus* ssp. *Maderensis*), *Teucrium heterophyllum* ssp. *heterophyllum*, *Lolium lowei*, etc (Menezes et al., 2005).

O Ilhéu Chão foi o local escolhido para estudar o impacte da formiga-argentina por ser um local isolado, com comunidades naturais em bom estado de conservação e, principalmente, por ser um dos locais no arquipélago da Madeira em que a abundância de formiga-argentina é extremamente elevada. Foi selecionada uma área de amostragem, localizada na zona este do ilhéu, que reunia as condições necessárias para realizar a fácil observação da atividade da formiga-argentina ao nível do solo. Este local era dominado por *Artemisia argentea*, ocorrendo também um conjunto de outras espécies como *Suaeda vera*, *Asphodelus fistulosus* (figura 8).

2.2. Espécie em estudo: a formiga-argentina (*Linepithema humile*)

A formiga-argentina, *Linepithema humile* (Mayr, 1868), pertence à subfamília Dolichoderinae, família Formicidae e ordem Hymenoptera. O sistema de reprodução é haplodiplóide e as colónias são poligínicas (cerca de 8 rainhas por 1000 obreiras). As obreiras desta espécie são pequenas, monomórficas e estéreis, medem entre dois a três mm de comprimento, o corpo e os seus apêndices variam entre um castanho avermelhado a amarelado, podendo em algumas populações variar até ao castanho escuro (figura 9). As rainhas são robustas, medem entre quatro e seis mm de comprimento e apresentam alguma pilosidade (figura 9); os machos são maiores que as obreiras, mas menores que a rainha; ambos apresentam a mesma cor das obreiras (Wild, 2004).



Figura 9 - Rainha (à esquerda) e obreira (à direita) de *Linepithema humile*. Fonte: Alexander Wild

2.2.1. Ciclo biológico da colónia

O ciclo biológico anual da colónia é influenciado pela variação climática sazonal (Benois, 1973; Markin, 1970a). No inverno, as colónias parecem passar por um “descanso fisiológico”, reduzindo bastante a sua atividade, uma vez que a postura pela rainha é mínima ou nula, e por sua vez, o desenvolvimento pós-embrionário demora mais tempo do que o experimentado no verão. Com o aumento da temperatura na primavera, o período do pico da postura de ovos começa, do final de março até maio, e esta produção gera uma quantidade massiva de machos em junho e julho, e obreiras de julho a outubro (Benois, 1973). No verão, a postura de ovos diminui drasticamente, provavelmente devido à execução de aproximadamente 90% das rainhas pelas obreiras em maio, de forma a ser possível a diferenciação de novas rainhas e aumentar a disponibilidade de alimento para as larvas (Keller *et al.*, 1989). No fim do verão, ocorre o segundo período de postura, são formadas as larvas que hibernam até fevereiro. Estas larvas retomam o seu desenvolvimento em março e tornam-se pupas a meio de maio. O acasalamento ocorre dentro do formigueiro, ao contrário de outras espécies em que se dá um voo nupcial (Benois, 1973). Depois do acasalamento, as asas da rainha caem e esta começa imediatamente a colocar ovos férteis. O número de rainhas no formigueiro mantém-se razoavelmente constante até à próxima primavera, onde um novo ciclo recomeça (Markin, 1970a).

2.2.2. Dieta

Embora esta espécie seja omnívora, a principal fonte de alimento é líquida. Pode ser obtida através do néctar de flores (Markin, 1970b) ou através de melada, rica em carboidratos e aminoácidos, fornecida principalmente por hemípteros herbívoros, como afídeos e cochonilhas (Way, 1963). Outra parte importante da dieta da formiga-argentina

é a parte sólida, constituída essencialmente por pequenos insetos, adultos ou formas imaturas, vivos ou mortos. Esta é a principal fonte de proteína, e os principais consumidores são as larvas e rainhas (Abril *et al.*, 2007; Markin, 1970b).

2.2.3. Atividade de busca de alimento

As obreiras encontram presas e fontes de alimento aleatoriamente. Por exemplo, uma obreira sai do carreiro e procura aleatoriamente uma fonte de alimento. Quando a encontra, alimenta-se e regressa ao formigueiro mais próximo, criando um rasto de químico para estimular outras obreiras a seguirem o trilho. Pequenos insetos são facilmente predados e transportados intactos para o formigueiro. Insetos maiores são agarrados por uma obreira até que outras venham assisti-la. Os fluidos do corpo da presa são ingeridos e os pedaços são transportados até ao formigueiro (Markin, 1970c)

A atividade de procura por alimento é bastante dependente da temperatura. Quanto maior a temperatura, mais as formigas estão ativas e são mais rápidas. A temperatura em que existe atividade é entre 15° e 30°C. Abaixo dos 10°C e acima dos 32°C as formigas reduzem consideravelmente a sua atividade (Markin, 1970b). A formiga-argentina apresenta também uma variação sazonal na atividade diária pela busca de alimento. Durante a primavera e o verão, a atividade é contínua (dia e noite) (Human *et al.*, 1998) sendo limitada pela baixa humidade e elevadas temperaturas (Abril *et al.*, 2007). No inverno, a atividade pela busca de alimento torna-se apenas diurna, como acontece também em outras espécies, como resultado da temperatura baixa (Abril *et al.*, 2007; Markin, 1970b). Esta espécie não tem período de hibernação, ao contrário de outras espécies de formigas, e fica ativa até que a temperatura assim o permita (Abril *et al.*, 2007; Benois, 1973; Holway, 1998). Uma vez que a maior fonte de alimento desta espécie é líquida, a atividade sazonal da formiga-argentina também está relacionada com as flutuações sazonais da disponibilidade de alimento líquido, principalmente dos hemípteros (Markin, 1970b).

2.2.4. Dinâmica de formigueiros

Normalmente os formigueiros localizam-se a uma profundidade de aproximadamente 20 cm, mas durante períodos mais secos, estes podem descer até 60 cm (Hartley e Lester, 2003). Os formigueiros não são estruturas permanentes. A movimentação do formigueiro pode ocorrer para explorar recursos efémeros ou condições microclimáticas mais favoráveis para a colónia, ou, se ocorrer alguma

condição adversa, a colónia rapidamente abandona o local onde estava e mudam-se para outro com melhores condições ou funde-se com colónias adjacentes. Deste modo, uma obreira não está associada a um único formigueiro, movimenta-se aleatoriamente entre formigueiros, por isso, um formigueiro não pode ser descrito como uma unidade isolada (Markin, 1970a).

2.3. Distribuição e abundância da formiga-argentina no arquipélago da Madeira

Para se estudar a distribuição e abundância da formiga-argentina no arquipélago da Madeira, foi usada a técnica de armadilhas *pitfall*. As armadilhas de *pitfall* consistiram em copos de plástico contendo etilenoglicol e algumas gotas de detergente colocados ao nível do solo, e encontrando-se protegidas da chuva e do vento por um prato de plástico colocado a alguns centímetros da superfície do solo. As armadilhas foram distribuídas ao longo de um transecto linear separadas entre si por 5 m e permaneceram ativas no campo durante 15 dias (Boieiro *et al.*, 2013). A distribuição dos locais de amostragem procurou cobrir a diversidade de ilhas e ilhéus e as várias tipologias de habitat do arquipélago. Esta amostragem foi realizada no âmbito de projetos anteriores (ver agradecimentos) com o objetivo de estudar a fauna de artrópodes epígeos, sendo aqui apresentados os resultados relativos à comunidade de formigas, particularmente a distribuição e abundância da espécie invasora *Linepithema humile*. As amostras foram identificadas taxonomicamente em laboratório com o uso de lupa estereoscópica Olympus SZX7 e literatura específica (Collingwood e Prince, 1998; Seifert, 2002; Wetterer *et al.*, 2007). Os resultados das identificações foram analisados através de análise multivariada, a fim de associar diferentes comunidades de formigas a diferentes habitats e unidades geográficas, e foi produzido um mapa de distribuição (com informação qualitativa de abundância relativa) para identificar quais os locais invadidos pela formiga-argentina. Os dados de abundância das diferentes espécies foram transformados usando a função $\log_{10}(x+1)$ e foi realizada uma análise de componentes principais e uma análise de grupo usando um método aglomerativo e a distância de Bray-Curtis. As análises foram realizadas no programa Community Analysis Package v4.0 (Henderson e Seaby, 2007).

2.4. Previsão da distribuição da formiga-argentina no arquipélago da Madeira

2.4.1 Modelos preditivos de distribuição de espécies

Modelos preditivos de distribuição de espécies (SDM's) são modelos estáticos, probabilísticos que formulam hipóteses de distribuição potencial de espécies (i.e. nicho fundamental, segundo Hutchinson (1957)), dentro de parâmetros espaciais, ambientais e temporais dos dados analisados (interpolação), e preveem a sua distribuição fora dos parâmetros utilizados, em territórios para os quais não existe informação recolhida (extrapolação) (Ferrier, 2002; Nicholls, 1989).

Graças às funcionalidades dos Sistemas de Informação Geográfica e ao fácil acesso a variáveis ambientais a nível global, é possível gerar mapas preditivos da distribuição de espécies para um determinado local, através de um modelo matemático que relaciona as variáveis ambientais com os dados conhecidos de distribuição das espécies (Guisan e Zimmermann, 2000). Este tipo de modelos tem vindo a ser cada vez mais utilizado, pois permite superar a lacuna de informação existente sobre a distribuição das espécies e responder a um grande número de hipóteses ecológicas, biogeográficas e evolutivas (e.g. Anderson *et al.*, 2002; Jiménez-Valverde *et al.*, 2007; Peterson *et al.*, 1999). Os SDM's têm sido muito úteis também na seleção de locais para a constituição de áreas protegidas e para a conservação de espécies ameaçadas (e.g. Araújo and Williams, 2000; Sánchez-Cordero *et al.*, 2005), para prever os efeitos das alterações climáticas na distribuição de espécies (Peterson, 2003; Thuiller *et al.*, 2005) e ainda prever as áreas geográficas onde populações de espécies invasoras se poderão estabelecer no futuro e possíveis áreas de conflito com outras espécies (Ficetola *et al.*, 2007; Vicente *et al.*, 2011).

Embora os SDM's apresentem vantagens e sejam considerados bastante precisos, possuem algumas limitações, entre outras, de não terem em conta interações bióticas, capacidade de dispersão das espécies, plasticidade fenotípica, adaptação evolutiva ou mudança de nicho (*niche shift*) (Broennimann *et al.*, 2007; Fitzpatrick *et al.*, 2007; Roura-Pascual e Suarez, 2008; Steiner *et al.*, 2008), sendo que todos estes fatores são decisivos para o sucesso ou falha de invasão por formigas (Bertelsmeier *et al.*, 2015). Os modelos normalmente assumem que as espécies invasoras irão manter os seus requisitos ecológicos nas áreas geográficas projetadas, conservando o seu nicho (niche conservatism) (ver Pearman *et al.*, 2008), no entanto a espécie poderá

experimentalizar uma mudança de nicho não prevista pelo modelo (Broennimann *et al.*, 2007).

Cientes das limitações dos modelos de distribuição de espécies, estes continuam a ser uma mais valia aplicados em projetos de gestão e conservação da natureza, alertando para possíveis problemas futuros e contribuindo para a resolução de problemas do quotidiano.

2.4.2. Conjunto de dados da distribuição de formiga-argentina

Para a modelação da distribuição da espécie foram utilizados dois conjuntos de dados, a nível global e regional. Os dados a nível regional, do arquipélago da Madeira, incluíam 28 locais onde a presença da formiga-argentina estava confirmada em trabalhos publicados (Wetterer *et al.*, 2007), e em informação não publicada recolhida no âmbito de projetos de investigação e de conservação da natureza que decorreram desde 2006 (ver agradecimentos). Optou-se por utilizar não só dados de distribuição desta espécie provenientes do arquipélago da Madeira, mas também a nível mundial, pois desta forma a caracterização do nicho potencial da espécie será mais informativa (Broennimann e Guisan, 2008). Os dados a nível mundial incluíam 1032 locais de presença confirmada, retirados da literatura (Roura-Pascual *et al.*, 2004; Vogel *et al.*, 2010). A resolução destes dados foi adaptada à das variáveis ambientais, aproximadamente um km².

2.4.3. Variáveis ambientais

Foram selecionadas seis variáveis ambientais (tabela 1) tendo em conta a sua influência ecológica na espécie-alvo e por serem as que coincidem com as mesmas utilizadas no Worldclim (<http://www.worldclim.org/>) e no projeto CLIMAAT II (Santos e Aguiar, 2006). Para ambas a resolução é de um km², aproximadamente no caso do Worldclim. Estas variáveis bioclimáticas derivam de valores mensais de temperatura e precipitação para gerar variáveis mais biologicamente significativas.

Tabela 1 - Variáveis bioclimáticas utilizadas na análise. Fonte: <http://www.worldclim.org/>

| Código | Nome | Unidades |
|-------------------|--|-----------------|
| BIO ₁ | Temperatura média anual | °C * 10 |
| BIO ₁₀ | Temperatura média do trimestre mais quente | °C * 10 |
| BIO ₁₁ | Temperatura média do trimestre mais frio | °C * 10 |
| BIO ₁₂ | Precipitação total anual | Milímetros (mm) |
| BIO ₁₆ | Precipitação do trimestre mais chuvoso | Milímetros (mm) |
| BIO ₁₇ | Precipitação do trimestre mais seco | Milímetros (mm) |

Neste estudo foram utilizados os resultados de um modelo climático regionalizado para a Região Autónoma da Madeira, o CIELO (Miranda *et al.*, 2006), produzido no âmbito do projeto CLIMAAT II (Santos e Aguiar, 2006). Os cenários tidos em conta foram o A2 ou B2 e as três épocas definidas para o estudo foram 1960 (correspondendo aos dados atuais), 2040 e 2070. As previsões foram apenas feitas para a ilha da Madeira, excluindo as Desertas e Porto Santo.

2.4.4. Técnicas de modelação: pacote *Red* e método *maxent*

Para a análise foi utilizado o pacote *red* – “IUCN Redlisting Tools” (Cardoso, 2017a, 2017b) no programa R. Este pacote utiliza o método MaxEnt (versão 3.4.1) (Phillips *et al.*, 2006) que calcula a distribuição potencial de espécies por máxima entropia (i.e., o mais próximo do uniforme possível), restringido pelo valor de cada variável ambiental. Este método requer apenas dados de presença de espécies, e possui uma performance elevada mesmo com um reduzido tamanho de amostras (Elith *et al.*, 2006; Phillips *et al.*, 2006). O pacote *red* foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o risco de extinção de espécies, de acordo com a UICN, e realiza uma série de análises espaciais baseadas em ocorrências observadas ou em intervalos estimados. As funções para este estudo foram: o cálculo da extensão da ocorrência (EOO - calculada como o polígono convexo mínimo que cobre todos os locais conhecidos ou previstos para a espécie), área de ocupação (AOO – calculada como a área de todas as células conhecidas ou previstas para as espécies com resolução um km²), mapeamento de espécies e modelação da distribuição de espécies usando cobertura climática. Calcula também os limites de confiança para todas as medidas (Cardoso, 2017a).

2.4.5 Processo de modelação

Foram realizadas três análises diferentes. Primeiro usou-se o conjunto de dados global para revelar a adequação climática global da formiga-argentina. Depois usou-se esse mesmo conjunto de dados para projetar o modelo climático para a escala regional a uma resolução de um por um km. E por último, usou-se o conjunto de dados regionais para mapear a adequação climática para a ocorrência da formiga na ilha da Madeira, também com a resolução de um km².

Para cada análise foram produzidos 100 replicados. Cada replicado usou uma combinação diferente aleatória de 75% dos dados de presença, um novo conjunto de dados de pseudo-ausência e, no caso de os dados de origem serem os regionais, como estes são poucos, fez-se uma combinação aleatória de três camadas ambientais (Cardoso, 2017a).

O resultado final de cada replicado foi convertido para binário pelo valor onde a soma da sensibilidade e da especificidade são maximizados. Estes mapas foram somados, dando origem a mapas probabilísticos. Posteriormente, estes mapas foram convertidos em mapas binários de presença/ausência pelo limite (*threshold*) de 0,5, o que dá um resultado de consenso.

Desta forma, fez-se a previsão da distribuição potencial da formiga-argentina na ilha da Madeira para as épocas de 2040 e 2070, tendo em conta um cenário de alteração climática.

2.5. Atividade, dieta e associações mutualísticas da formiga-argentina

2.5.1. Atividade diurna da formiga-argentina ao nível do solo

Foram selecionadas 8 entradas de formigueiro na zona invadida, localizadas em áreas onde a cobertura arbustiva e herbácea oferecia uma boa visibilidade da atividade das formigas. A atividade da formiga-argentina foi determinada contando o número de obreiras que entravam e saíam do formigueiro durante o período de 10 minutos, através de observações no campo e com o apoio de câmaras de vídeo e fotográficas (Sony HDR-CX405 HandyCam e Panasonic DMC TZ-80).

Devido ao difícil acesso e logística de permanência no Ilhéu Chão, a amostragem foi feita durante o mês de abril (num total de quatro dias) e no mês de junho de 2017 (quatro dias). Atendendo às diferenças no fotoperíodo entre os períodos de estadia, as observações foram feitas das nove às 19 horas em abril e das oito às 20 horas em junho.

Durante os trabalhos de campo foram registadas a temperatura do ar e a humidade relativa recorrendo a um termohigrómetro (Hyelec MS6252B), mas devido a problemas técnicos com o aparelho de medição alguma da informação era pouco fiável. Deste modo, foi solicitada a informação ao Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) da estação meteorológica mais próxima das Desertas, no Caniçal, que cedeu os dados de temperatura do ar e humidade relativa para três dias da amostragem em abril e junho.

Para cada período (abril e junho) foram calculados os valores médios (e respetivo desvio-padrão) de atividade horária da formiga-argentina. Dado que as variáveis “entrada” e “saída” de obreiras do formigueiro se correlacionam positivamente ($\rho = 0,985$), optou-se por considerar a atividade da espécie como a soma de ambas as variáveis, procedimento habitual em estudos de atividade de formicídeos. A atividade média da formiga-argentina foi depois correlacionada com variáveis ambientais (temperatura média do ar e humidade relativa) para cada um dos períodos (abril e junho) através de testes de correlação de Pearson.

2.5.2. Dieta sólida da formiga-argentina

Foram contados e recolhidos, durante períodos de 10 minutos, os itens transportados pelas obreiras da formiga-argentina para dentro e para fora dos mesmos oito formigueiros selecionados para estudar a atividade diária. A amostragem da dieta foi feita no mesmo período horário e nos mesmos dias em que foi feita a amostragem da atividade diária da formiga. Foi considerada “dieta sólida” todos os itens animais e vegetais transportados, à exceção de indivíduos ou partes de indivíduos da espécie *L. humile*. As amostras foram recolhidas com o auxílio de um aspirador entomológico, sendo posteriormente armazenadas em tubos de plástico, em álcool etílico a 70%. As amostras foram identificadas taxonomicamente em laboratório com o recurso a lupas estereoscópicas Olympus SZX7 e a literatura entomológica (e.g., Barrientos, 1988) e a uma listagem das espécies dadas para o arquipélago da Madeira, com a informação sobre o seu estatuto de colonização (Borges et al., 2008a). Sempre que possível, a identificação dos itens foi feita até ao nível específico, mas por vezes eles constituíam

apenas partes de animais pelo que foi impossível indicar com segurança a espécie de que se tratava. Nesses casos, a identificação foi feita a um nível supraespecífico, geralmente ao nível da família ou da ordem. A informação da dieta da formiga-argentina é apresentada para cada um dos períodos de amostragem (abril e junho) na forma de diagramas circulares com indicação da percentagem de itens transportados por categoria. Destacou-se o grupo Hemiptera por corresponder ao mais frequentemente transportado pelas formigas.

2.5.3. Associação mutualística com insetos fitófagos

Foi feita uma prospeção pela ilha a fim de observar em que plantas a formiga-argentina se associava mutualisticamente com insetos fitófagos. As plantas foram identificadas taxonomicamente, assim como os insetos recolhidos. A recolha foi feita predominantemente em junho, por ser nessa altura que existem mais associações mutualísticas com herbívoros. Posteriormente, as amostras foram enviadas para um especialista para proceder à sua identificação (ver agradecimentos).

A informação sobre as espécies recolhidas foi compilada e representada esquematicamente e apresentando também a variedade de associações entre as espécies/géneros de hemípteros fitófagos com que a formiga-argentina se associa de forma mutualística e as respetivas plantas hospedeiras. O estatuto de distribuição de cada uma das espécies de plantas e insetos segue a indicação de Borges *et al.* (2008b) e a abundância relativa das plantas estudadas foi avaliada numa escala qualitativa por um especialista (ver agradecimentos).

3. Resultados

3.1. Distribuição e abundância da formiga-argentina no arquipélago da Madeira

O estudo das amostras de *pitfall* do arquipélago da Madeira resultou na identificação de 61117 exemplares, pertencentes a 14 espécies de formigas (Anexo I). Na sua maioria (~72%,) estes exemplares pertencem à espécie invasora *Linepithema humile* que foi encontrada em 10 dos 26 locais amostrados. Os resultados da distribuição e abundância relativa da formiga-argentina com base na amostragem com *pitfall* no arquipélago da Madeira, encontram-se representados na figura 10.

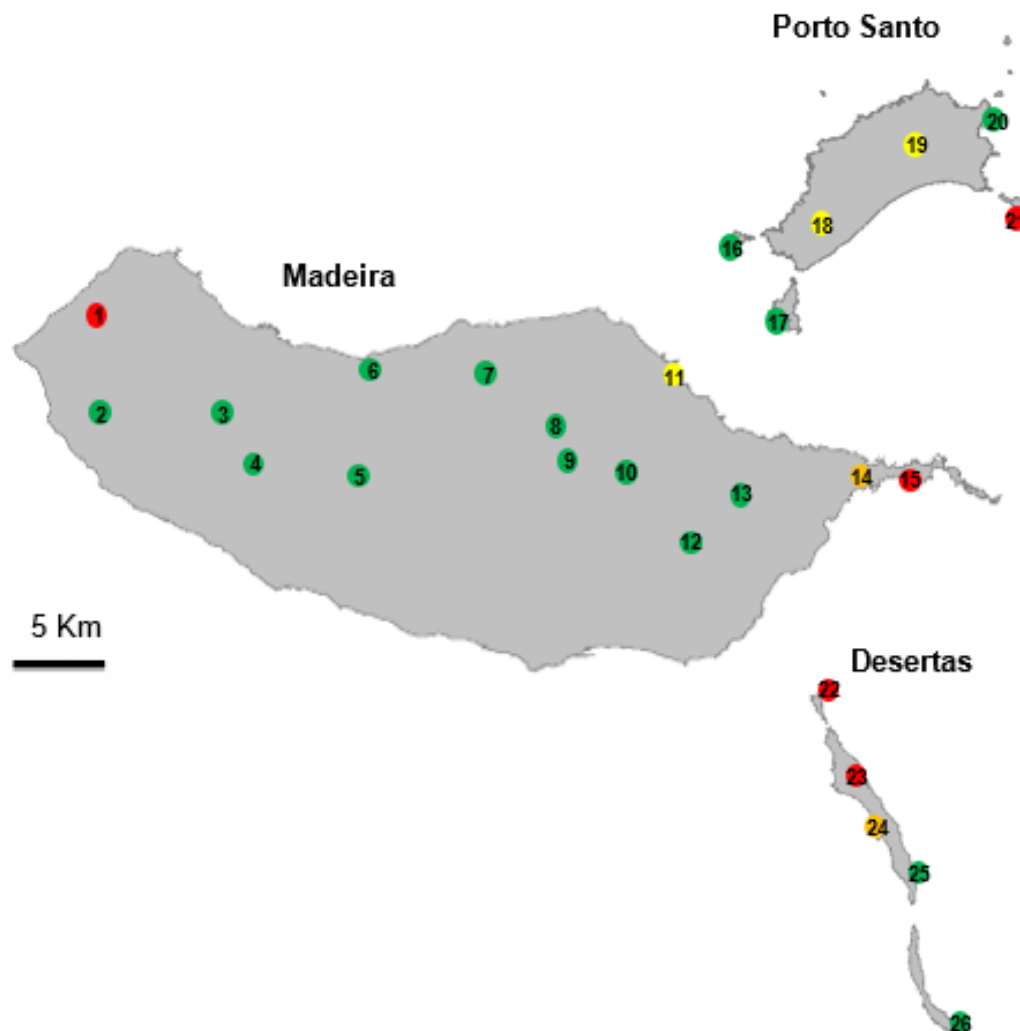


Figura 10 - Distribuição e abundância da formiga-argentina no arquipélago da Madeira. Pontos vermelhos – abundância extremamente elevada (>50% das formigas amostradas), laranja – abundância moderada (25-50% das formigas amostradas), amarelo – abundância reduzida (<25% das formigas amostradas) e verde – ausência. Os nomes das localidades codificadas com números estão discriminados em Anexo II.

A formiga-argentina parece encontrar-se ausente dos ilhéus da Cal e do Ferro (em Porto Santo) e do Bugio (nas Desertas), onde nunca foi assinalada e que poderão ainda não ter sido invadidos. Na ilha da Madeira, a formiga-argentina está ausente dos locais de média altitude, dominados pela Laurissilva do Barbusano (aproximadamente até aos 1000 m) e Laurissilva do Til (aproximadamente entre os 1000-1400 m), mas também das zonas de altitude, a partir dos 1400 m.

Por outro lado, a formiga-argentina está presente e pode ocorrer com elevados valores de abundância em muitas zonas costeiras e em locais associados a habitats transformados ou perturbados, como as áreas de Santana e das Achadas da Cruz. Verifica-se que os locais com abundância extremamente elevada de formiga-argentina localizam-se predominantemente em zonas costeiras. As máximas abundâncias observadas foram para o Ilhéu Chão com um total de 11572 exemplares e no Ilhéu do Farol ou de Cima, em Porto Santo, atingindo o total de 30003 indivíduos! Nestas duas áreas de estudo foram capturados 95% de todos os exemplares da formiga-argentina.

Os resultados da análise de componentes principais mostram uma clara diferenciação das formigas das zonas costeiras relativamente às espécies que ocorrem a maior altitude (Fig. 11), que é corroborada pela percentagem de variância (37%) explicada pelo primeiro eixo.

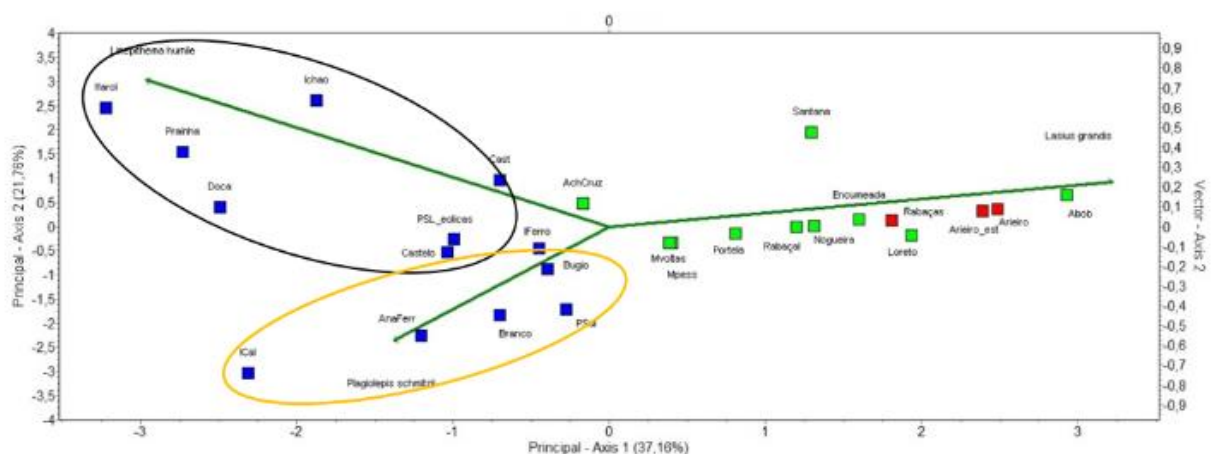


Figura 11 - Semelhança entre as comunidades de formigas do arquipélago da Madeira com base nos dois eixos principais de uma análise de componentes principais. Estão representadas as comunidades referentes ao andar costeiro (a azul), florestal (a verde) e de altitude (a vermelho), destacando-se as diferenças entre as comunidades costeiras com a presença (a preto) ou ausência (a amarelo) de formiga-argentina. O nome dos locais encontra-se abreviado (Anexo II).

Ao longo deste eixo, é também possível verificar a separação das comunidades de formigas características da Laurissilva, das comunidades que ocorrem em urzal ou prados de altitude. Curiosamente o segundo eixo discrimina dois grupos de comunidades de formigas das áreas costeiras, um em que a formiga-argentina está ausente e outro em que ela está presente (Fig. 11). A percentagem de variância explicada por este eixo é de cerca de 22%. A análise de grupo (Anexo III) apresenta o mesmo padrão obtido com a análise de componentes principais onde se identificam as duas comunidades de formigas - costeira e florestal/altitude - e a separação das comunidades costeiras em função da presença da formiga-argentina. Importa realçar, com alguma surpresa, que as comunidades de formigas das áreas costeiras não se agruparam em função da sua origem geográfica, ou seja, de acordo com o grupo de ilhas onde se realizou a amostragem (Desertas, Porto Santo e Madeira), o que parece ilustrar a relevância da formiga-argentina como fator determinante na estruturação das comunidades. Por outro lado, a fraca co-ocorrência da formiga-argentina com a espécie nativa dominante *Lasius grandis* (Roig e Espadaler, 2010) parece sugerir alguma resistência biótica à expansão da espécie invasora.

3.2. Evolução da distribuição da formiga-argentina no arquipélago da Madeira

Foram obtidos resultados diferentes para os modelos que apenas consideraram o conjunto de dados regionais e para os que consideraram o mundial. Geraram-se mapas de probabilidade da distribuição potencial da formiga-argentina na ilha da Madeira para a atualidade, assim como para os anos de 2040 e 2070, e para cada conjunto de dados (figura 12 a-c). Posteriormente foram convertidos para mapas de presença/ausência para as mesmas épocas, gerando um modelo de consenso (figura 12 d-f).

Tendo em conta os modelos binários de consenso, os que utilizaram os dados mundiais distribuição de *L. humile* são mais precisos (AUC = 0,89; Kappa = 0,32; TSS \leq 0,68) (tabela 2) que os modelos que utilizaram apenas os dados da ilha da Madeira (AUC \leq 0,70; Kappa \leq 0,11; TSS \leq 0,41) (Anexo IV). Deste modo, a análise foi focada nos resultados gerados pelo modelo de consenso que apenas inclui os dados de distribuição mundial (fig. 12 d-f).

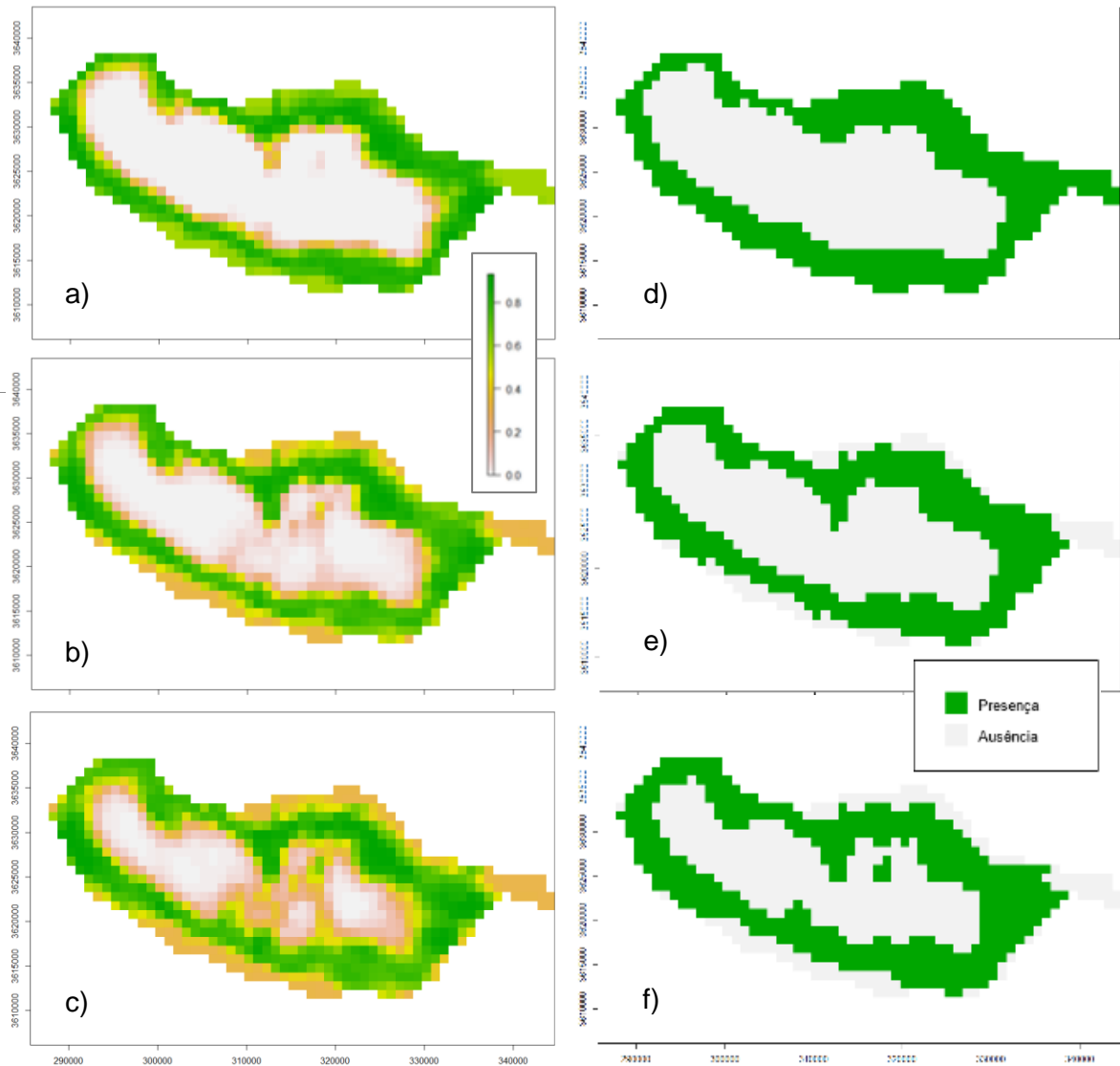


Figura 12 - Potencial ocorrência futura da formiga-argentina na ilha da Madeira, através de modelação com base em dados de distribuição mundial. Mapas probabilísticos da distribuição da espécie, variando entre branco (zero probabilidade de ocorrência) e verde (máxima probabilidade de ocorrência), a) na atualidade, b) em 2040 e c) em 2070. Mapas de consenso, de presença (verde) e ausência (branco) da espécie d) na atualidade, e) em 2040 e f) em 2070.

Tabela 2 - Resultados do modelo de consenso, tendo em conta dados de distribuição mundial. EOO (extensão de ocorrência); AOO (área de ocupação).

| | AUC | Kappa | TSS | EOO | AOO |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-------|-----|
| Atualidade | 0,8925188 | 0,3194934 | 0,6715000 | 966,5 | 568 |
| 2040 | 0,8947226 | 0,3267524 | 0,6771699 | 833,5 | 560 |
| 2070 | 0,8919313 | 0,3241308 | 0,6845000 | 809,0 | 592 |

Os resultados obtidos pelo melhor modelo preveem que a evolução da distribuição da espécie invasora desde a atualidade até ao ano de 2040, seja de uma redução de cerca de 1,41% (de 568 para 560 km²) da sua área de ocupação (AOO), e uma redução de 13,76% (de 966,5 para 833,5 km²) da extensão de ocupação (EOO). Por outro lado, este modelo prevê que a AOO pela espécie venha a aumentar em 5,71% (de 560 para 592), mas que diminua 2,94% (de 833,5 para 809,0) em termos de EOO, entre 2040 e 2070. Tendo em conta que a EOO é calculada como o polígono convexo mínimo que cobre todos os locais conhecidos ou previstos para a espécie, e a AOO é a soma da área de todas as células conhecidas ou previstas para a espécie, admite-se que o valor de AOO seja um método com menor erro associado.

Para além do aumento da área da ocupação pela formiga-argentina (fig.12), prevê-se que a distribuição desta formiga invasora tenderá a deslocar-se para o interior da ilha da Madeira, o que significa que esta irá subir em termos topográficos. Por outro lado, este modelo prevê que no futuro, a formiga-argentina deixe de ocupar zonas mais junto à costa a este (Ponta de S. Lourenço), a norte e a sul, na zona mais urbanizada da ilha. Estes resultados sugerem que no futuro estes locais deixem de possuir as condições climáticas adequadas para a ocupação da espécie pois prevê-se um aumento da temperatura média anual para ambos os períodos, especialmente na encosta sul, e uma diminuição da precipitação média anual em todas as estações do ano (Cruz *et al.*, 2009).

3.3. Impacte da formiga-argentina nas comunidades naturais do arquipélago da Madeira

3.3.1. Atividade diária

Ao todo foram feitas 66 observações de 10 minutos em abril e 153 em junho, da atividade diária da formiga-argentina no Ilhéu Chão. Em abril, verificou-se uma inibição da atividade em 12% das observações, já em junho o mesmo registou-se em 24% das observações.

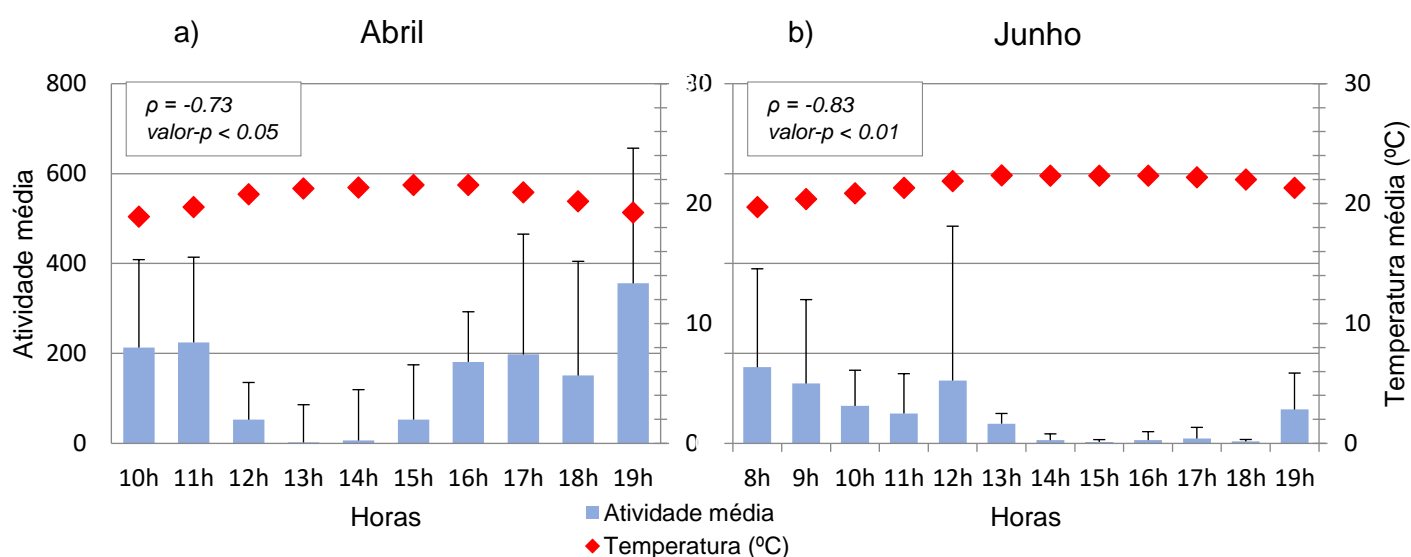


Figura 13 - Atividade horária média (e desvio padrão) da formiga-argentina e a sua relação com temperatura média do ar (°C) em a) abril e b) junho. São indicados os valores das correlações da atividade com temperatura e a sua significância.

Em abril, registou-se atividade durante o período da manhã, que diminuiu até uma atividade média quase nula das 13 às 14 horas. Após este intervalo, observa-se um novo aumento da atividade média das formigas, a partir das 15 até às 19 horas (figura 13).

Relativamente aos dados de junho, é possível observar que existe alguma atividade no período da manhã, embora em menor intensidade que em abril, sofrendo depois uma redução gradual da atividade média até às 13 horas, mantendo-se baixa num maior intervalo de tempo, entre as 14 e as 18 horas. Não se verifica um grande aumento da atividade média após esta hora, contrariamente ao observado em abril (figura 13).

Em abril o valor médio de temperatura em que se registou a maior atividade média (cerca de 356 obreiras) foi de 19,3 °C, às 19 horas. Já em junho, embora a maior atividade média (cerca de 169 obreiras) tenha sido muito inferior à de abril, ocorreu às oito horas, a uma temperatura de 19,7 °C.

Os valores obtidos do coeficiente de correlação de Pearson para os dois meses mostram a existência de uma correlação linear negativa forte e significativa entre as duas variáveis (figura 13), mostrando que com o aumento de temperatura média do ar dá-se uma redução da atividade média das formigas, até que se atinja a temperatura máxima de atividade.

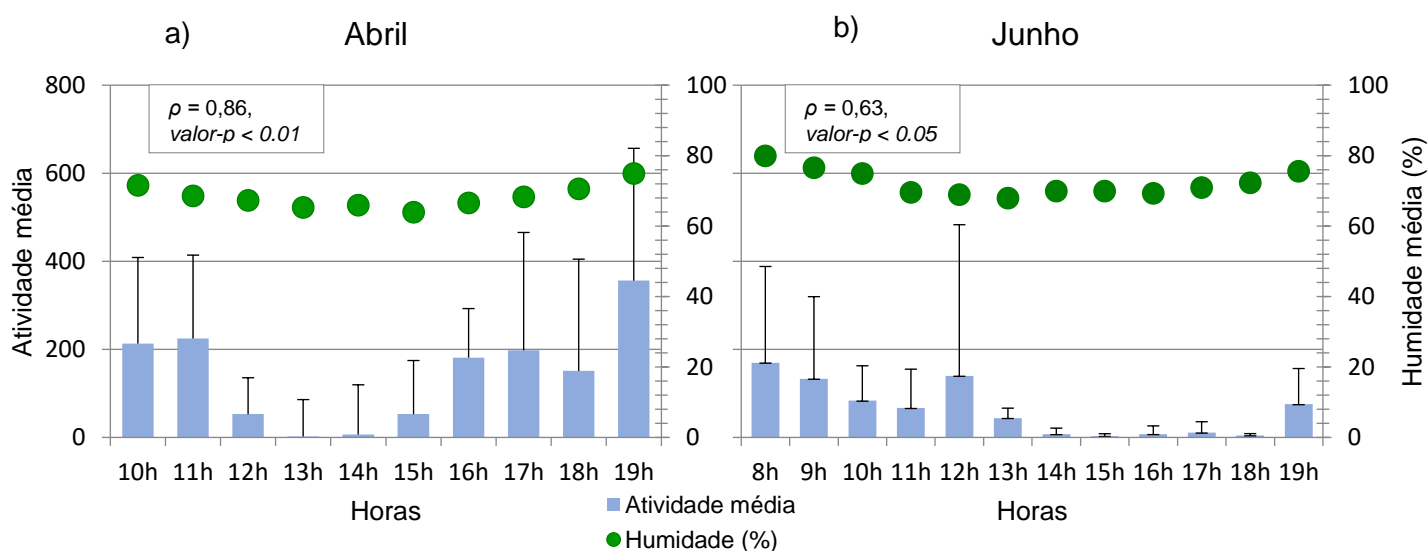


Figura 14 - Atividade horária média (e desvio padrão) da formiga-argentina e a sua relação com humidade relativa média (%) em a) abril e b) junho. São indicados os valores das correlações da atividade com humidade e a sua significância.

Foi ainda analisada a variação ao longo do dia da atividade média das formigas e a sua relação com a humidade relativa média, para os dois períodos de amostragem (figura 14).

O valor obtido do coeficiente de Pearson para o mês de abril indica a existência de uma forte correlação positiva entre as duas variáveis em estudo. Já em junho esse coeficiente apresenta um valor mais baixo, indicando ainda assim a existência de uma correlação moderada entre as duas variáveis. Para ambos os períodos, o resultado do coeficiente de correlação positivo indica que com o aumento da humidade do ar, a formiga-argentina aumenta a sua atividade de busca e recolha de alimento à superfície do solo (figura 14).

3.3.2. Dieta sólida

Foi feito um total de 56 observações de dieta sólida em abril e 95 em junho. Em abril, considerando as observações em que foi detetada atividade, houve transporte de itens em 85% destas observações, enquanto que em junho isto ocorreu apenas em 46% das observações. Dentro das observações em que houve transporte de itens, cerca de 92% das vezes houve transporte de objetos considerados dieta sólida em abril (Anexo VI), e 61% em junho (Anexo VII), correspondendo a um total de 142 e 37 itens, respetivamente.

Cerca de 49% da amostra de dieta sólida recolhida em abril foi material biológico que não foi possível identificar por se encontrar bastante fragmentado ou em mau estado de conservação (figura 15). Já em junho, a proporção de material não identificado foi de 38% (figura 16). A componente vegetal foi muito baixa em ambas as épocas. Verificou-se que em ambas as alturas, o grupo de insetos mais transportado pelas formigas foi a ordem Hemiptera (23% em ambos os meses).

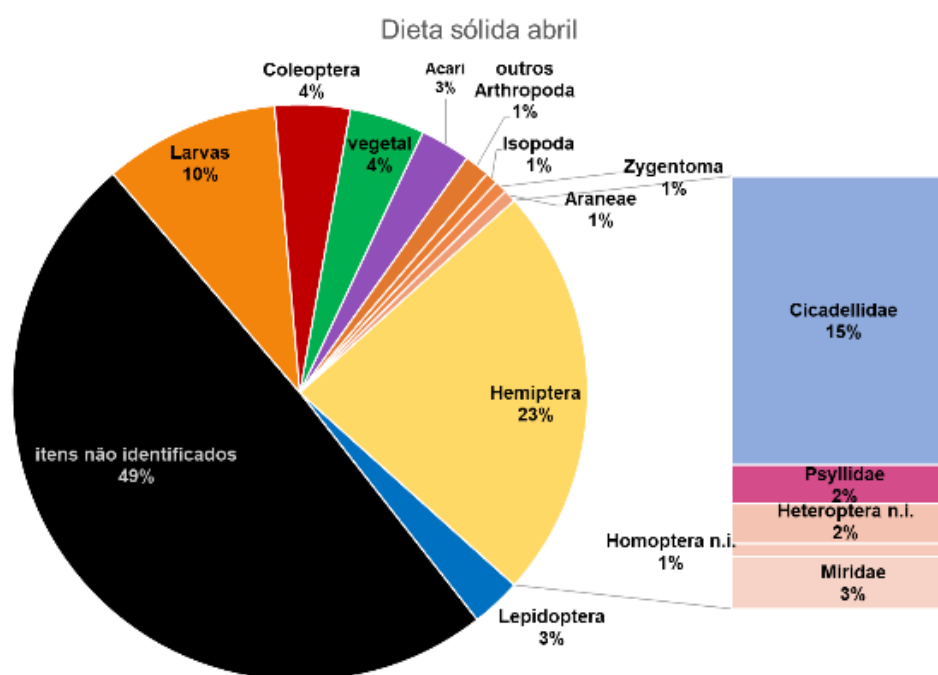


Figura 15 – Percentagem dos vários componentes da dieta sólida da formiga-argentina em abril.

As cigarrinhas (Cicadellidae) (15%), os mirídeos (Miridae) (3%) e, em menor percentagem (2%), os psíldeos (Psyllidae) da espécie nativa *Rhodochlanis salsolae* (Lethierry, 1874), que agora se regista pela primeira vez nas Desertas (figura 15), foram predadas com mais frequência em abril. Por outro lado, em junho, dentro dos Hemiptera, os indivíduos que foram alvo de maior predação (11%) pertenciam à espécie endémica do arquipélago da Madeira *Nysius contiguus* Walker, 1872 (Lygaeidae). Destaca-se também, embora predados em pequeno número (3%), cigarrinhas (Cicadellidae) e flatídeos (Flatidae) da espécie endémica do arquipélago da Madeira *Cyphopterum fauveli* (Noualhier, 1897), e outros homópteros não identificados.

Quanto a outros artrópodes predados em menor percentagem em ambos os meses são pequenos escaravelhos ou partes (Coleoptera), lagartas (Lepidoptera), ácaros (Acari), aranhas (Araneae) e outros artrópodes não identificados. Em abril houve também bichos da conta (Isopoda), peixinhos-de-prata (Zygentoma) e em junho piolhos dos livros (Psocoptera) e tisanópteros (Thysanoptera), mas em percentagem muito baixa (1%) (figura 16).

É importante destacar que a proporção de formas imaturas (larvas, ninfas e lagartas) na dieta sólida da formiga-argentina foi de 40%, em abril, enquanto que em junho foi de 26%.

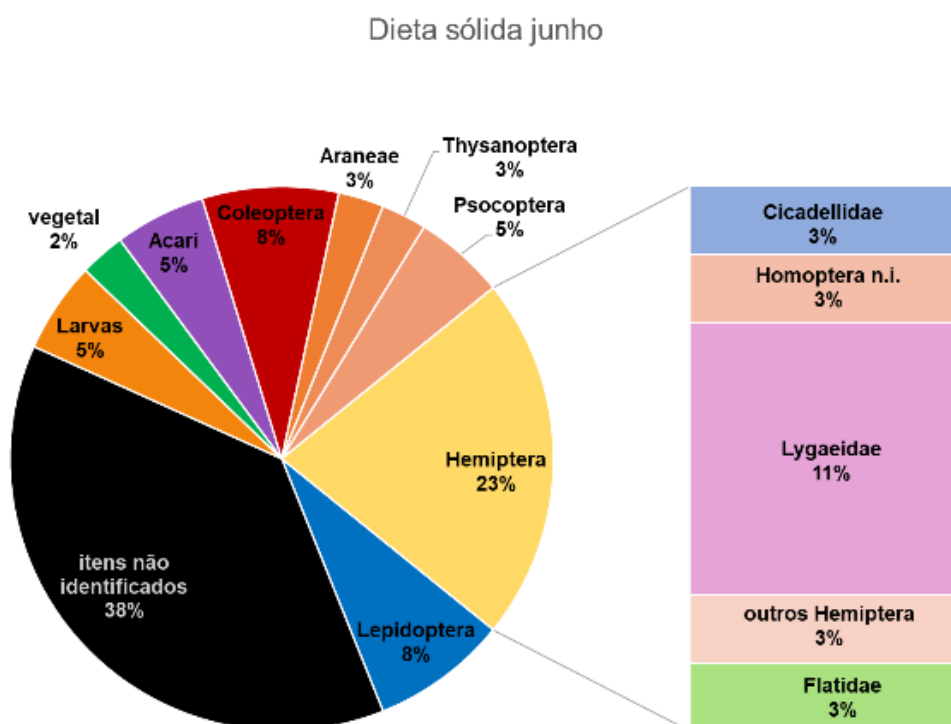


Figura 16 - Percentagem dos vários componentes da dieta sólida da formiga-argentina em junho.

3.3.3. Associações mutualísticas com insetos fitófagos

Foram observadas associações da formiga-argentina com 12 espécies de hemípteros fitófagos (duas delas apenas identificadas ao nível do género), pertencentes a dois grupos distintos, afídeos (Aphididae) e cochonilhas (Coccoidea). Das espécies de hemípteros identificadas, seis são nativas, três introduzidas e os dois géneros identificados (*Macrosiphoniella* sp.; *Coccus* sp.), são também introduzidos. Ao todo, foram identificadas 10 espécies e dois géneros novos para as ilhas Desertas e destaca-se ainda a descoberta de uma nova espécie (*Aphis pseudocardui* Theobald, 1915) para o arquipélago da Madeira. Em relação às plantas hospedeiras destes hemípteros fitófagos, das sete espécies identificadas, quatro são nativas e três são endémicas, enquanto o género identificado (*Silene* sp.) é nativo (tabela 3).

Com base na informação da tabela foi criada uma rede de associações entre os hemípteros fitófagos com que a formiga formiga-argentina se associa e as respetivas plantas hospedeiras (figura 17). Verifica-se que tanto as espécies/géneros de hemípteros nativos como introduzidos possuem associação com uma ou mais plantas hospedeiras nativas ou endémicas. Em relação às plantas hospedeiras observa-se que *Artemisia argentea* é a espécie de planta que mantém associações com a maior diversidade de espécies/géneros de hemípteros, num total de seis distintas (*Macrosiphoniella* sp., *Coccus* sp., *P. urbicola*, *S. oleae*, *H. lataniae* e *I. purchasi*), sendo que mais de metade são espécies introduzidas. Para este resultado decerto contribuirá a sua maior abundância na área de estudo, mas também o seu carácter perene, maior tamanho e complexidade estrutural. No total obtiveram-se nove associações entre espécies endémicas/nativas e sete associações que envolveram hemípteros introduzidos.

Tabela 3 - Espécies de hemípteros encontradas em associação com a formiga-argentina e as suas plantas hospedeiras no Ilhéu Chão (Desertas). É indicado o estatuto de colonização de cada espécie (endémica, nativa ou introduzida) e são assinaladas as espécies novas para as Desertas (*) e para o arquipélago (**).

| Hemiptera | | | Planta | | |
|--------------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------|
| Espécie | Família | Estatuto de colonização | Espécie | Família | Estatuto de colonização |
| <i>Aphis craccivora</i> * | Aphididae | Nativa | <i>Silene sp.</i> | Cariophyllaceae | nativa |
| <i>Aphis gossypii</i> * | | Nativa | <i>Crepis divaricata</i> | Asteraceae | endêmica |
| <i>Aphis pseudocardui</i> ** | | ? | | Asteraceae | |
| <i>Aphis umbrela</i> * | | nativa | <i>Lavatera cretica</i> | Malvaceae | nativa |
| <i>Uroleucon sonchi</i> * | | nativa | <i>Sonchus oleraceus</i> | Asteraceae | nativa |
| <i>Hemiberlesia lataniae</i> * | Diaspididae | nativa | <i>Artemisia argentea</i> | Asteraceae | endêmica |
| | | | <i>Phagnalon lowei</i> | Asteraceae | endêmica |
| <i>Icerya purchasi</i> * | Monophlebidae | introduzida | <i>Artemisia argentea</i> | Asteraceae | endêmica |
| | | | <i>Sonchus oleraceus</i> | Asteraceae | nativa |
| <i>Macrosiphoniella sp.</i> * | Aphididae | introduzida | <i>Artemisia argentea</i> | Asteraceae | endêmica |
| <i>Coccus sp.</i> * | Coccidae | introduzida | <i>Artemisia argentea</i> | Asteraceae | endêmica |
| <i>Pulvinaria urbícola</i> * | | nativa | <i>Plantago coronopus</i> | Plantaginaceae | nativa |
| | | | <i>Silene uniflora</i> | Cariophyllaceae | nativa |
| | | | <i>Artemisia argentea</i> | Asteraceae | endêmica |
| <i>Saissetia coffeae</i> * | | introduzida | <i>Silene sp.</i> | Cariophyllaceae | nativa |
| <i>Saissetia oleae</i> * | | introduzida | <i>Artemisia argentea</i> | Asteraceae | endêmica |
| | | | <i>Phagnalon lowei</i> | Asteraceae | endêmica |

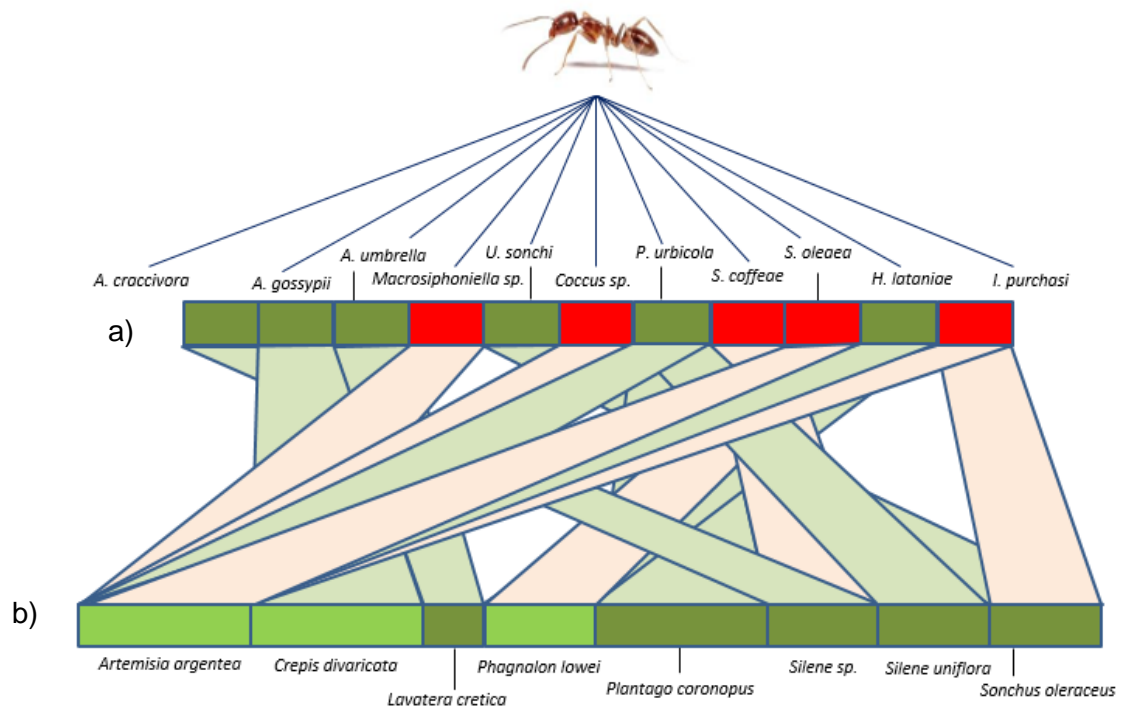


Figura 17 - Associações entre formiga-argentina, a) hemípteros fitófagos e b) respetivas plantas hospedeiras. A vermelho – espécie introduzida, a verde escuro – espécie nativa e a verde claro – espécie endémica. Ligações a verde são entre espécies nativas ou endémicas e as ligações a vermelho claro são quando envolve alguma espécie introduzida. Em b) o comprimento de cada faixa representa a abundância relativa de cada planta no Ilhéu Chão.

4. Discussão

4.1. Abundância e distribuição da formiga-argentina no arquipélago da Madeira

As maiores abundâncias obtidas em *pitfall*, corresponderam sempre a zonas costeiras e/ou humanizadas, na ilha da Madeira, principalmente na Ponta de São Lourenço, em Porto Santo (Ilhéu do Farol) e ilhas Desertas (Ilhéu Chão e Deserta Grande). Os locais onde a formiga-argentina estava ausente corresponderam a zonas de altitude dominadas por Laurissilva, urzal ou vegetação de altitude, locais demasiado húmidos e frios para a formiga se estabelecer. Também a presença de espécies nativas mais agressivas nestes locais, como a *Lasius grandis*, podem constituir um forte obstáculo biótico à invasão pela formiga-argentina (Wetterer *et al.*, 2006). Estes resultados estão de acordo com a literatura, que refere que esta espécie na Madeira, se restringe a zonas costeiras, humanizadas muito perturbadas ou agrícolas e que os fatores que limitam a distribuição da formiga são sobretudo o clima, vegetação e espécies competidoras (Wetterer *et al.*, 2006, 2007).

Em alguns locais onde a sua abundância era baixa (<1700 indivíduos), também coexistia com espécies nativas como *Hypoponera eduardi*, *Monomorium carbonarium*, *M. subopacum* e *Plagiolepis schmitzii* (Wetterer *et al.*, 2007). A baixa abundância da formiga-argentina em algumas áreas da Madeira e Porto Santo e a sua co-ocorrência com espécies nativas de formigas levou alguns autores a considerarem que ela não teria impactes significativos na biodiversidade (Wetterer *et al.*, 2006, 2007). Os nossos resultados contrariam esta tese, uma vez que em alguns locais, como são os casos dos Ilhéus Chão e do Farol, a formiga-argentina pode atingir abundâncias elevadíssimas, sendo a única espécie presente nesses locais e monopolizando os recursos existentes. O sucesso da formiga-argentina nestes locais deve-se em grande medida à sua simplicidade estrutural, ausência de espécies nativas que constituam um obstáculo à sua invasão e a presença de outras, algumas das quais também exóticas, com as quais se associam mutualisticamente. Estes ilhéus isolados, não habitados e com comunidades naturais com elevado interesse para a conservação da natureza (integram a Rede Natura e Zonas Especiais de Conservação) encontram-se seriamente ameaçados pela presença da formiga-argentina pelo que deverão ser tomadas medidas que assegurem a protecção dos seus valores naturais.

4.2. Evolução da distribuição da formiga-argentina no arquipélago da Madeira

Os resultados da modelação preveem que a área de ocupação pela formiga-argentina na ilha da Madeira tenderá a sofrer uma pequena redução da sua área de ocupação no futuro a médio-prazo (cerca de 1,4% até 2040), mas que aumente a longo-prazo (cerca de 5,7% entre 2040 e 2070). Estes resultados estão em sintonia com as previsões globais de distribuição desta espécie invasora que indicam que a sua distribuição tenderá a aumentar, face à sua expansão para locais de maior latitude (Roura-Pascual *et al.*, 2004).

Os modelos obtidos preveem para além disso, que a formiga-argentina deverá ocupar locais mais no interior da ilha a cotas mais elevadas, coincidindo com áreas que hoje são ocupadas essencialmente pelo limite basal da Laurissilva, onde domina a série da Laurissilva mediterrânica do barbusano de modo a acompanhar a sua adequabilidade climática, uma vez que se prevê um aumento da temperatura média anual e diminuição da precipitação média anual em todas as estações do ano (Cruz *et al.*, 2009). Os dados do projeto CLIMAAT II sugerem que as alterações climáticas potenciem a deslocação dos habitats em altitude, o que significaria que a Laurissilva iria deslocar-se em altitude, embora seja pouco provável por esta estar condicionada pela ecofisiologia das espécies, topografia e substrato. O mais provável é que esta sofra uma forte redução na sua área (Cruz *et al.*, 2009).

Os locais a meio da ilha onde o modelo prevê a distribuição futura da formiga-argentina correspondem a zonas de vale, um dos quais, o vale da Ribeira Brava, atravessa a ilha de norte a sul. Estas previsões são deveras preocupantes uma vez que, a confirmarem-se, a expansão da formiga-argentina será favorecida com a maior probabilidade de ocorrência de reforço populacional a populações isoladas e, por outro lado, a sua expansão ao longo dos vales no interior da ilha facilitará o processo de invasão.

Embora os dados obtidos prevejam que a formiga-argentina deixará de existir nas zonas costeiras, a cotas mais baixas, é preciso ressaltar que o modelo em questão não assumiu informações relevantes como as tipologias do uso do solo e os microclimas caracterizados por atividades humanas, tais como habitações, jardins e plantações agrícolas e florestais. Neste contexto, e apesar de se prever um aumento da temperatura e diminuição da precipitação, é provável que a espécie invasora se mantenha nas zonas costeiras associada às atividades humanas, onde é comum esta estabelecer-se (Wetterer *et al.*, 2009). Aliás, alguns estudos preveem o potencial que

esta espécie ainda tem de se expandir essencialmente em locais humanizados, como zonas costeiras urbanizadas, enquanto outros comprovaram que apesar dos fatores climáticos ambientais não serem favoráveis à presença da espécie, ela poderá estabelecer-se beneficiando dos ambientes criados pelo Homem (Roura-Pascual *et al.*, 2009).

Outro ponto a ter em conta é o facto de não se saber como espécies nativas de formigas como *Lasius grandis*, que é uma forte competidora e que serve de barreira ecológica à invasão pela formiga-argentina (Wetterer *et al.*, 2006), irão ser afetadas pelas alterações climáticas ou outros fatores. No entanto, sabe-se que alterações climáticas contribuem para a perturbação da biodiversidade, particularmente em ecossistemas insulares, o que desse prisma, poderá beneficiar as espécies invasoras. Também não se sabe como a comunidade de hemípteros fitófagos, importante contributo no sucesso de invasão da formiga-argentina (Wetterer *et al.*, 2001), vai evoluir no futuro de acordo com as alterações climáticas, embora experiências feitas com afídeos, mostrem que temperaturas mais elevadas têm um efeito positivo na taxa de crescimento dos mesmos (Barton e Ives, 2014; Trumble e Butler, 2009).

Embora os modelos obtidos no presente estudo sejam interessantes e muito úteis, acredita-se que não sejam definitivos, pois poderiam ser melhorados com a adição de dados não-climáticos, como configuração da paisagem e uso ou cobertura dos solos, traduzindo o grau de perturbação e urbanização dos locais (Roura-Pascual *et al.*, 2004). Desenvolvimentos futuros para melhores previsões de invasão por formigas conforme as alterações climáticas deverão focar-se em melhorias dos métodos existentes tendo em conta interações bióticas, incorporação de microclimas experimentados pelas formigas, e considerar os impactes combinados das perturbações de habitats e alterações climáticas (Bertelsmeier *et al.*, 2015).

4.3. Impacte da formiga-argentina nas comunidades naturais do arquipélago da Madeira.

Através do estudo combinado da atividade diurna ao nível do solo, dieta sólida e associações mutualísticas que a formiga-argentina mantém, analisou-se de que forma esta espécie invasora poderá perturbar as comunidades naturais do arquipélago da Madeira.

Relativamente à atividade média diurna da formiga-argentina ao nível do solo, os padrões de abril e junho foram diferentes entre si, mas ambos se correlacionaram,

de forma significativa, negativamente com a temperatura média do ar e positivamente com a humidade relativa, sugerindo que a atividade média esteja limitada por estes dois fatores abióticos. Este padrão também foi encontrado em estudos de atividade diária em comunidades naturais de montado no nordeste da Península Ibérica, onde a atividade por busca de alimento é contínua ao longo do dia na primavera e no verão, sendo limitada por humidade baixa e temperaturas altas (Abril *et al.*, 2007).

Apesar de se ter relacionado a atividade da formiga-argentina com a temperatura do ar, acredita-se que a temperatura que mais influencie a atividade visível das formigas seja a temperatura ao nível do solo, que é influenciada pela exposição solar, tipo de vegetação no local, propriedades físicas do solo, teor em humidade, condições do céu (sol, nublado), etc. Estas características influenciam a absorção e retenção de calor pelo solo ao longo do dia, ajudando a explicar os padrões encontrados para as duas épocas e ao longo do dia. No entanto, embora alguns autores considerem a temperatura do solo como o fator mais importante na atividade da formiga-argentina (e.g. Krushelnycky *et al.*, 2005), outros referem que esta variável está altamente correlacionada com a temperatura do ar (Holway, 1998).

Os resultados obtidos mostram que houve mais atividade média diurna ao nível do solo em abril que em junho, sendo que em abril, em vários períodos horários (manhã e tarde) a atividade média superou os 200 indivíduos/10 minutos, e em junho nunca chegou a este valor. Em junho foi também detetado o dobro da inibição da atividade média da formiga-argentina, em relação a abril. Estes resultados não vão de encontro ao que está na literatura, uma vez que o período de maior atividade registada para a espécie em habitat invadido é no verão, durante os meses de junho e julho (Abril *et al.*, 2007). Esta diferença poderá dever-se ao facto de a vegetação no ilhéu ser aberta, desprovida de coberto arbóreo e geralmente secar durante o mês de maio, mas também pela escolha das entradas dos formigueiros serem sempre ao nível do solo e expostas (de modo a ser possível observar, gravar a sua atividade e recolher as presas transportadas). Sabe-se que as formigas continuam ativas durante os períodos de mais calor, mas ao nível do subsolo ou, se a temperatura permitir, protegidas pela vegetação.

As diferenças de atividade de busca de alimento estão também relacionadas com as necessidades nutricionais da colónia. O principal alimento das obreiras é líquido, e por isso elas mantêm as relações de mutualismo com hemípteros fitófagos todo o ano, no entanto, como na primavera existe um pico de postura de ovos, é necessário que chegue alimento rico em proteína aos formigueiros para alimentar as pequenas larvas e as rainhas (Abril *et al.*, 2007; Markin, 1970b), ou pode estar também relacionado com

a maior disponibilidade deste alimento pelos hemípteros (Markin, 1970b). Este facto parece explicar que na primavera as obreiras apresentem maior atividade na busca de presas e no verão estas se refugiem em locais mais específicos, como as plantas hospedeiras de hemípteros fitófagos.

Por outro lado, registou-se também um maior volume de itens de dieta sólida em abril, período em que as necessidades proteicas do formigueiro são maiores. Em junho a quantidade destes itens foi menor, sendo que uma parte considerável da amostra correspondeu a corpos de obreiras ou rainhas de *L. humile*, coincidindo com a altura do ano em que grande parte das rainhas são executadas pelas obreiras de forma a serem produzidas novas rainhas (Keller *et al.*, 1989). A proporção de formas imaturas na dieta da formiga-argentina foi também muito maior em abril (40%), em comparação com junho (26%), contribuindo para alimento rico em proteína das larvas e rainhas na primavera. Nestes ambientes sazonais, estes recursos alimentares são efémeros e a formiga-argentina parece aproveitar a sua maior disponibilidade na primavera.

Embora não tenha sido possível identificar grande parte da amostra de dieta sólida por se apresentar demasiado fragmentada ou desidratada, observou-se que ela é extremamente diversificada incluindo material vegetal e uma grande diversidade de grupos de artrópodes terrestres, no entanto a maior porção pertence ao grupo Hemiptera, em ambas as épocas. Estes resultados reforçam o conhecimento dos hábitos generalistas e oportunistas da formiga-argentina, correspondendo ao que é conhecido de outras áreas invadidas (Abril *et al.*, 2007; Markin, 1970b). Porém, aqui é importante destacar que algumas das presas da formiga-argentina no Ilhéu Chão são espécies endémicas, algumas delas com uma distribuição muito restrita, pelo que as suas populações poderão estar ameaçadas pela presença da espécie invasora, à semelhança do que se verificou noutras áreas invadidas. Deverão ser realizados estudos específicos por forma a avaliar o real impacto da formiga-argentina sobre espécies endémicas selecionadas, particularmente as mais vulneráveis à sua presença.

Quanto à porção líquida da dieta, que envolve mutualismos com afídeos e cochonilhas, supõem-se que o recurso a esta fonte de alimento tenha sido muito maior no mês de junho, uma vez que nesse período se observou uma maior diversidade e quantidade de interações. A melada, rica em carbidratos, é uma parte fundamental da dieta da formiga-argentina e uma das principais razões para o seu sucesso como espécie invasora, regulando a sua abundância e dispersão (Rowles e Silverman, 2009) e tamanho da colónia (Helms e Vinson, 2008), e afetando também as relações competitivas de dominância, tornando-as mais agressivas, do que com uma dieta

baseada em insetos (Grover *et al.*, 2007). Porém, o estudo da dieta líquida da formiga-argentina em condições ambientais é difícil de realizar, razão pela qual não foi considerado neste trabalho.

Uma boa parte das espécies/géneros de hemípteros fitófagos identificados são introduzidos, no entanto, todas as espécies de plantas hospedeiras envolvidas são nativas/endémicas. A planta endémica *Artemisia argentea* é a espécie que mantém associações mutualísticas com uma maior diversidade de espécies/géneros de hemípteros, sendo a planta mais generalista entre as observadas. Este resultado é interessante pelo facto de a zona de dominância desta planta ser onde se detetou mais atividade de formiga-argentina em todo o ilhéu.

O facto de se terem identificado tantas espécies novas para as Desertas deve-se ao caso de ser um local pouco estudado em termos de fauna de artrópodes dadas as dificuldades logísticas e perigosidade associadas à amostragem nestas ilhas. No entanto, foi possível realizar a descoberta de uma espécie desconhecida em todo o arquipélago, *Aphis pseudocardui*, razão que justifica a realização de esforços para o melhor conhecimento da biodiversidade destas ilhas. Para além disso, foi importante identificar um conjunto de espécies com as quais a formiga-argentina se associa mutualisticamente e que são, em parte, uma das causas do seu sucesso. Embora algumas destas interações sejam já conhecidas e frequentes, nomeadamente as que a formiga-argentina estabelece com outras espécies introduzidas que são por vezes pragas agrícolas, de uma maneira geral pouco se sabe acerca das espécies de insetos fitófagos que mantêm relações mutualistas com formigas em ecossistemas naturais (Hanna *et al.*, 2015b). Assim, ao identificarmos as espécies com que as formigas interagem no Ilhéu Chão e como estas se associam com as diferentes plantas nativas temos uma melhor compreensão das causas do sucesso da sua invasão e simultaneamente uma melhor perceção dos seus impactos e da necessidade de medidas para a gestão das suas populações. Este estudo reforça assim a recente abordagem de que um melhor conhecimento, não apenas da biologia da espécie invasora, mas também das interações ecológicas locais em que se encontra envolvida é crucial para a definição de medidas de conservação.

4.4. Potenciais medidas de controlo da formiga-argentina no Ilhéu Chão

No Ilhéu Chão crê-se que a colónia já esteja bem estabilizada, uma vez que a sua introdução é anterior a 1989 (Isamberto Silva, comunicação pessoal). Atendendo aos elevados valores de abundância com que a espécie ocorre neste ilhéu, aos impactes na biodiversidade já reportados (e.g. Boieiro *et al.*, submetido) e aos resultados deste estudo que revelam a sua ação direta (como predadora) sobre os artrópodes terrestres nativos e indiretamente, mediando a interação de hemípteros fitófagos (muitos dos quais introduzidos) sobre as plantas nativas, é importante a adoção de medidas de controlo populacional que visem a redução do seu efetivo neste ilhéu.

Estas medidas de gestão deverão obedecer a uma estratégia que inclua ações diretas sobre a formiga-argentina e outras direcionadas às espécies introduzidas com as quais se associa sendo estas um dos principais fatores que contribuem para o seu sucesso (Lach, 2003). Os produtos utilizados hoje em dia no combate da formiga-argentina são iscos envenenados na forma de gel que atraem as obreiras, que depois transportam no seu corpo o alimento mortal para o formigueiro e o compartilham por trofalaxia com os outros elementos da colónia, incluindo formas imaturas e rainhas. Estes iscos envenenados usam como princípio ativo o fipronil ou piretróides, têm um efeito retardado que garante a sua transmissão aos vários elementos da colónia e o seu sucesso no controlo de formigas invasoras já foi testado em vários ambientes, incluindo noutros ecossistemas insulares (Boser *et al.*, 2014; Harris *et al.*, 2002; Hoffmann *et al.*, 2016; Inoue *et al.*, 2015). Porém, é primordial assegurar a inexistência de impactos nas comunidades intervencionadas dado o rico Património Natural existente pelo que a administração do produto tóxico só deverá ser feita em “estações” previamente iscadas e em que haja recrutamento pela formiga-argentina, garantindo assim a eficácia do seu transporte até ao formigueiro, evitando danos colaterais no ambiente. Por outro lado, o controlo das populações de hemípteros fitófagos introduzidos ou invasores com que a formiga-argentina se associa poderá ser feito em paralelo através de métodos físicos, caso os seus valores de abundância o justifiquem.

Porém, previamente à adoção de medidas de controlo deverá ser feita uma rigorosa avaliação sobre a sua pertinência, uma análise de custo-benefício dessas ações e um estudo que antecipe e avalie as consequências do controlo da formiga-argentina nas comunidades naturais invadidas (Silverman e Brightwell, 2008). O insucesso de muitos programas de controlo de espécies invasoras deve-se em grande medida à inexistência de uma avaliação e planeamento adequados (e.g. Plentovich *et*

al., 2011) pelo que a tomada de decisão deverá ser fundamentada com informação técnico-científica.

5. Conclusões

A presença da formiga-argentina foi sempre registada em zonas costeiras e/ou associadas a habitats perturbados ou habitações. Porém, as maiores abundâncias registadas são em locais isolados como os Ilhéus Chão e do Farol, sendo a única formiga presente e monopolizando os recursos existentes. O seu sucesso deve-se em grande parte à simplicidade estrutural das áreas invadidas, ausência de espécies nativas e existência de algumas espécies exóticas com que ela se relaciona mutualisticamente.

As previsões futuras da distribuição potencial da formiga-argentina na ilha da Madeira, a longo-prazo são aumento da área de distribuição, invasão de outros locais naturais que poderão sofrer com as alterações climáticas, mas manutenção da formiga-argentina nas zonas costeiras, associada a habitats perturbados e habitações, ao contrário das previsões do modelo.

Quanto ao seu impacte nas comunidades naturais do arquipélago, esta espécie tenderá a predar mais insetos adultos e imaturos, incluindo espécies nativas, em abril uma vez que a colónia nessa altura precisa de um maior rácio proteína:carboidratos, para alimentar as rainhas em postura e larvas em crescimento. Já no verão, supõe-se que a dieta seja à base de alimento líquido, rico em carboidratos, proveniente de associações mutualísticas com afídeos e cochonilhas, uma vez que se observou menor transporte de presas e uma maior quantidade e diversidade deste tipo de associações. No Ilhéu Chão, a formiga-argentina já se associou a uma grande diversidade de espécies nativas e introduzidas de hemípteros fitófagos e, por sua vez, estas utilizam uma diversidade de plantas nativas e endémicas.

Dada a sua ampla e crescente expansão geográfica, alta abundância local e potencial para perturbar os ecossistemas, as formigas invasoras são uma preocupação importante para a conservação da natureza. Este problema é preocupante dado que, uma vez estabelecidas, as formigas invasoras mostram ser difíceis de controlar e quase impossíveis de erradicar (Holway *et al.*, 2002). É importante que se continue a obter uma melhor compreensão da biologia e ecologia das espécies invasoras e das suas interações, conhecimento esse que apoie a tomada de decisões na minimização dos problemas associados a estas e prevenir a introdução de outras espécies que possuem características semelhantes.

6. Referências bibliográficas

- Abril, S., Oliveras, J., e Gómez, C. (2007). Foraging activity and dietary spectrum of the Argentine ant (Hymenoptera: Formicidae) in invaded natural areas of the northeast Iberian Peninsula. *Environ. Entomol.* 36, 1166–1173.
- Aguiar, C., Costa, J.C., Fontinha, S., Espírito-Santo, D., Jardim, R., Lousã, M., Rivas-Martínez, S., Mesquita, S., Sequeira, M., e Sousa, J. de (2004). A paisagem vegetal da Ilha da Madeira. In Quercetea, J. Capelo, ed. (Lisboa, Portugal: ALFA), pp. 3–200.
- Anderson, R.P., Gómez-Laverde, M., e Peterson, A.T. (2002). Geographical distributions of spiny pocket mice in South America: Insights from predictive models. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 11, 131–141.
- Araújo, M.B., e Williams, P.H. (2000). Selecting areas for species persistence using occurrence data. *Biol. Conserv.* 96, 331–345.
- Barrientos, J.A. (1988). Bases para un curso práctico de entomología. Asociación Española de Entomología. Salamanca.
- Barton, B.T., e Ives, A.R. (2014). Direct and indirect effects of warming on aphids, their predators, and ant mutualists. *Ecology* 95, 1479–1484.
- Beattie, A.J. (1985). The evolutionary ecology of plant-ant mutualisms (Cambridge: Cambridge University Press).
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., e Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecol. Lett.* 15, 365–377.
- Benois, A. (1973). Incidence des facteurs ecologiques sur le cycle annuel et l'activité saisonnière de la fourmi d'Argentine, *Iridomyrmex humilis* Mayr (Hymenoptera, Formicidae), dans la région d'Antibes. *Insect. Soc.* 20, 267–295.
- Bertelsmeier, C., Blight, O., e Courchamp, F. (2015). Invasions of ants (Hymenoptera : Formicidae) in light of global climate change. *Myrmecological News* 22, 25–42.
- Blancafort, X., e Gómez, C. (2005). Consequences of the Argentine ant, *Linepithema humile* (Mayr), invasion on pollination of *Euphorbia characias* (L.) (Euphorbiaceae). *Acta Oecologica* 28, 49–55.
- Boieiro, M., Catry, P., Santos, C., Menezes, D., Silva, I., Coelho, N., Oliveira, P., Gatt, M., Pedro, P., e Granadeiro, J. Invasive ants and the conservation of seabirds on the Desertas Islands (Madeira archipelago): a case for concern? *Nat. Conserv.*

Boeiro, M., Carvalho, J.C., Cardoso, P., Aguiar, C.A.S., Rego, C., de Faria e Silva, I., Amorim, I.R., Pereira, F., Azevedo, E.B., Borges, P.A.V., et al. (2013). Spatial Factors Play a Major Role as Determinants of Endemic Ground Beetle Beta Diversity of Madeira Island Laurisilva. *PLoS One* 8, 1–10.

Borges, P.A. V, Aguiar, A.F., Boeiro, M., Carles-Tolrá, M., e Serrano, A.R.M. (2008a). List of arthropods (Arthropoda). In *A list of the terrestrial fungi, flora and fauna of Madeira and Selvagens archipelagos*, (Direcção Regional do Ambiente da Madeira/Universidade dos Açores), pp. 271–356.

Borges, P. a. V., Abreu, C., Aguiar, A.M.F., Carvalho, P., Jardim, R., Melo, I., Oliveira, P., Sérgio, C., Serrano, A.R.M., e Vieira, P. (2008b). A list of the terrestrial fungi, flora and fauna of Madeira and Selvagens archipelagos.

Boser, C.L., Hanna, C., Faulkner, K.R., Cory, C., Randall, J.M., e Morrison, S.A. (2014). Argentine Ant Management in Conservation Areas : Results of a Pilot Study. 7, 518–530.

Brew, C.R., O'Dowd, D.J., e Rae, I.D. (1989). Seed dispersal by ants: behaviour-releasing compounds in elaiosomes. *Oecologia* 80, 490–497.

Broennimann, O., e Guisan, A. (2008). Predicting current and future biological invasions: both native and invaded ranges matter. *Biol. Lett.* 4, 585–589.

Broennimann, O., Treier, U., Müller-Schärer, H., Thuiller, W., Peterson, A.T., e Guisan, A. (2007). Evidence of climatic nich shift during biological invasion. *Ecol. Lett.* 10, 701–709.

Câmara, B. (2002). *A economia da Madeira: (1850-1914)* (Lisboa: Imprensa de Ciências Sociais).

Cardoso, P. (2017a). red - an R package to facilitate species red list assessments according to the IUCN criteria. *Biodivers. Data J.* 5, e20530.

Cardoso, P. (2017b). red: IUCN Redlisting Tools.

Carney, S.E., Byerley, M.B., e Holway, D.A. (2003). Invasive Argentine ants (*Linepithema humile*) do not replace native ants as seed dispersers of *Dendromecon rigida* (Papaveraceae) in California, USA. *Oecologia* 135, 576–582.

Carpintero, S., e Reyes-López, J. (2008). The role of competitive dominance in the invasive ability of the Argentine ant (*Linepithema humile*). *Biol. Invasions* 10, 25–35.

Catry, P., Dias, M., Catry, T., Pedro, P., Tenreiro, P., e Menezes, D. (2014). Bulwer's

petrels breeding numbers on the Desertas Population, (Madeira): improved estimates indicate the NE Atlantic population to be much larger than previously thought. *Airo* 23, 10–14.

Christian, C.E. (2001). Consequences of a biological invasion reveal the importance of mutualism for plant communities. *Nature* 413, 635–639.

Clavero, M., e Brotons, L. (2010). Functional homogenization of bird communities along habitat gradients: Accounting for niche multidimensionality. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 19, 684–696.

Cole, F.R., Medeiros, A.C., Loope, L.L., e Zuehlke, W.W. (1992). Effects of the Argentine ant on arthropod fauna of Hawaiian high elevation shrubland. 73, 1313–1322.

Collingwood, C.A., e Prince, A. (1998). A guide to ants of continental Portugal (Hymenoptera: Formicidae) (Sociedade Portuguesa de Entomologia).

Cruz, M.J., Aguiar, R., Correia, A., Tavares, T., Pereira, J.S., e Santos, F.D. (2009). Impacts of climate change on the terrestrial ecosystems of Madeira. *Int. J. Des. Nat. Ecodynamics* 4, 413–422.

Cruz, M.J., Avelar, D., Sousa, A., Vasconcelos, F., Jardim, R., e Pulquérito, M. (2014). Elaboração do Estudo sobre as Vulnerabilidades e Respostas às Alterações Climáticas no Arquipélago da Madeira - Relatório da fase 1: Vulnerabilidades [Setor Biodiversidade.

Daane, K.M., Sime, K.R., Fallon, J., e Cooper, M.L. (2007). Impacts of Argentine ants on mealybugs and their natural enemies in California's coastal vineyards. *Ecol. Entomol.* 32, 583–596.

Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., et al. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography (Cop.)*. 29, 129–151.

Espadaler, X., e Gomez, C. (1997). Soil surface searching and transport of *Euphorbia characias* seeds by ants. *Acta Oecologica* 18, 39–46.

Estany-Tigerström, D., Bas, J.M., e Pons, P. (2010). Does Argentine ant invasion affect prey availability for foliage-gleaning birds? *Biol. Invasions* 12, 827–839.

Ferreira, M.T., Cardoso, P., Borges, P.A. V, Gabriel, R., de Azevedo, E.B., Reis, F., Araújo, M.B., e Elias, R.B. (2016). Effects of climate change on the distribution of indigenous species in oceanic islands (Azores). *Clim. Change* 138, 603–615.

- Ferrier, S.I. (2002). Mapping Spatial Pattern in Biodiversity for Regional Conservation Planning: Where to from Here? *Syst. Biol.* 51, 331–363.
- Ficetola, G.F., Thuiller, W., e Miaud, C. (2007). Prediction and validation of the potential global distribution of a problematic alien invasive species - The American bullfrog. *Divers. Distrib.* 13, 476–485.
- Fitzpatrick, M.C., Weltzin, J.F., Sanders, N.J., e Dunn, R.R. (2007). The biogeography of prediction error: Why does the introduced range of the fire ant over-predict its native range? *Glob. Ecol. Biogeogr.* 16, 24–33.
- Fowler, H.G., Bueno, O.C., Sadatsune, T., e Montelli, A.C. (1993). Ants as potential vectors of pathogens in hospitals in the state of Sao Paulo, Brazil. *Insect Sci. Appl.* 14(3), 367–370.
- Gómez, C., e Oliveras, J. (2003). Can the Argentine ant (*Linepithema humile* Mayr) replace native ants in myrmecochory? *Acta Oecologica* 24, 47–53.
- Gómez, C., Pons, P., e M. Bas, J. (2003). Effects of the Argentine ant *Linepithema humile* on seed dispersal and seedling emergence of *Rhamnus alaternus*. 4, 532–538.
- Goodfriend, G.A., Cameron, R.A.D., e Cook, L.M. (1994). Fossil evidence of recent human impact on the land snail fauna of Madeira. *J. Biogeogr.* 21, 309–320.
- Gordon, D.M., Moses, L., Falkovitz-Halpern, M., e Wong, E.H. (2001). Effect of Weather on Infestation of Buildings by the Invasive Argentine Ant, *Linepithema humile* (Hymenoptera: Formicidae). *Am. Midl. Nat.* 146, 321–328.
- Grover, C.D., Kay, A.D., Monson, J.A., Marsh, T.C., e Holway, D.A. (2007). Linking nutrition and behavioural dominance: carbohydrate scarcity limits aggression and activity in Argentine ants. *Proc. R. Soc. London B Biol. Sci.* 274, 2951–2957.
- Grover, C.D., Dayton, K.C., Menke, S.B., e Holway, D.A. (2008). Effects of aphids on foliar foraging by Argentine ants and the resulting effects on other arthropods. *Ecol. Entomol.* 33, 101–106.
- Guisan, A., e Zimmermann, N.E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Modell.* 135, 147–186.
- Hanna, C., Naughton, I., Boser, C., Alarcón, R., Hung, K.L.J., e Holway, D. (2015a). Floral visitation by the Argentine ant reduces bee visitation and plant seed set. *Ecology* 96, 222–230.

- Hanna, C., Naughton, I., Boser, C., e Holway, D. (2015b). Testing the effects of ant invasions on non-ant arthropods with high-resolution taxonomic data. *Ecol. Appl.* 25, 1841–1850.
- Harris, R.J., Rees, J.S., e Toft, R.J. (2002). Trials to eradicate infestations of the Argentine ant, *Linepithema humile* (Hymenoptera: formocidae) in New Zealand. *Proc. 4th Int. Conf. Urban Pests* 67–74.
- Hartley, S., e Lester, P.J. (2003). Temperature-dependent development of the Argentine ant, *Linepithema humile* (Mayr) (Hymenoptera: Formicidae): A degree-day model with implications for range limits in New Zealand. *New Zeal. Entomol.* 26, 91–100.
- Heller, N.E., Sanders, N.J., Shors, J.W., e Gordon, D.M. (2008). Rainfall facilitates the spread, and time alters the impact, of the invasive Argentine ant. *Oecologia* 155, 385–395.
- Helms, K.R., e Vinson, S. (2008). Plant resources and colony growth in an invasive ant: the importance of honeydew-producing hemiptera in carbohydrate transfer across trophic levels. *Environ. Entomol.* 37, 487–493.
- Henderson, P.A., e Seaby, R.M.H. (2007). Community analysis package 4.0. Pisces Conserv. Ltd, Lymington, UK.
- Hoffmann, B.D., Luque, G.M., Bellard, C., Holmes, N.D., e Donlan, C.J. (2016). Improving invasive ant eradication as a conservation tool: A review. *Biol. Conserv.* 198, 37–49.
- Holway, D.A. (1998). Effect of Argentine Ant Invasions on Ground-Dwelling Arthropods in Northern California Riparian Woodlands. *Springer Coop. with Int. Assoc. Ecol.* 116, 252–258.
- Holway, D. a. (1999). Competitive Mechanisms Underlying the Displacement of. *Ecology* 80, 238–251.
- Holway, D.A., e Suarez, A. V. (2004). Colony-structure variation and interspecific competitive ability in the invasive Argentine ant. *Oecologia* 138, 216–222.
- Holway, D.A., Lach, L., Suarez, A. V., Tsutsui, N.D., e Case, T.J. (2002). The Causes and Consequences of Ant Invasions. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 33, 181–233.
- Human, K.G., Weiss, S., Weiss, A., Sandler, \net, e Gordon, D.M. (1998). Effects of Abiotic Factors on the Distribution and Activity of the Invasive Argentine Ant (Hymenoptera: Formicidae). *Environ. Entomol* 2733, 822–828.

Hutchinson, G.E. (1957). Concluding Remarks. Cold Spring Harb. Symp. Quant. Biol. 22, 415–427.

Inoue, M.N., Saito-Morooka, F., Suzuki, K., Nomura, T., Hayasaka, D., Kishimoto, T., Sugimaru, K., Sugiyama, T., e Goka, K. (2015). Ecological impacts on native ant and ground-dwelling animal communities through Argentine ant (*Linepithema humile*) (Hymenoptera: Formicidae) management in Japan. Appl. Entomol. Zool. 50, 331–339.

IPCC (2007). IPCC Fourth Assessment Report (AR4) (Geneva, Switzerland: IPCC).

Jiménez-Valverde, A., Ortuño, V.M., e Lobo, J.M. (2007). Exploring the distribution of *Sterocorax Ortuño*, 1990 (Coleoptera, Carabidae) species in the Iberian Peninsula. J. Biogeogr. 34, 1426–1438.

Kay, A.D., Zumbusch, T., Heinen, J.L., Marsh, T.C., e Holway, D. (2010). Nutrition and interference effects on the behavior and performance of Argentine ants. Ecology 91, 57–64.

Keller, L., Passera, L., e Suzzoni, J.-P. -P (1989). Queen execution in the Argentine ant, *Iridomyrmex humilis*. Physiol. Entomol. 14, 157–163.

Krushelnicky, P.D., Joe, S.M., Medeiros, A.C., Daehler, C.C., e Loope, L.L. (2005). The role of abiotic conditions in shaping the long-term patterns of a high-elevation Argentine ant invasion. Divers. Distrib. 11, 319–331.

Lach, L. (2003). Invasive ants: unwanted partners in ant-plant interactions? Ann. Missouri Bot. Gard. 91–108.

Lach, L. (2008). Argentine ants displace floral arthropods in a biodiversity hotspot. Divers. Distrib. 14, 281–290.

Lach, L., Parr, C.L., e Abbott, K.L. (2010). Ant Ecology (Oxford and New York: Oxford University Press).

LeVan, K.E., e Holway, D.A. (2015). Ant-aphid interactions increase ant floral visitation and reduce plant reproduction via decreased pollinator visitation. Ecol. Soc. Am. 96, 1620–1630.

Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S., e Poorter, M. De (2000). 100 of the World's Worst Invasive Alien Species - a selection from the global invasive species database (The Invasive Species Specialist Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN)).

- Markin, G.P. (1970a). The seasonal life cycle of the Argentine ant, *Iridomyrmex humilis* (Hymenoptera: Formicidae), in southern California. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 63, 1238–1242.
- Markin, G.P. (1970b). Foraging behavior of the argentine ant in a California citrus grove. *J. Econ. Entomol.* 63, 740–744.
- Markin, G.P. (1970c). Food distribution within laboratory colonies of the argentine ant, *Tridomyrmex humilis* (Mayr). *Insectes Soc.* 17, 127–157.
- Menezes, D., Freitas, I., Gouveia, L., Oliveira, P., Pires, R., e Fontinha, S. (2005). As Ilhas Desertas (Serviço do Parque Natural da Madeira).
- Miranda, P.M., Valente, M.A., Tomé, A.R., Trigo, R., Coelho, F., Aguiar, A., e Azevedo, E.B. (2006). O clima de Portugal nos séculos XX e XXI. In *Alterações climáticas em Portugal: Cenários, impactos e medidas de adaptação - Projecto SIAM II*, F.D. Santos, e P. Miranda, eds. (Lisboa, Portugal: Gradiva), p. 506.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B., e Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853–858.
- Ness, J.H., e Bronstein, J.L. (2004). The effects of invasive ants on prospective ant mutualists. *Biol. Invasions* 445–461.
- Nicholls, A.O. (1989). How to make biological surveys go further with generalised linear models. *Biol. Conserv.* 50, 51–75.
- Nygard, J.P., Sanders, N.J., e Connor, E.F. (2008). The effects of the invasive Argentine ant (*Linepithema humile*) and the native ant *Prenolepis imparis* on the structure of insect herbivore communities on willow trees (*Salix lasiolepis*). *Ecol. Entomol.* 33, 789–795.
- Oliveira, P., Menezes, D., Trout, R., Buckle, A., Geraldès, P., e Jesus, J. (2010). Successful eradication of the European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) and house mouse (*Mus musculus*) from the island of Selvagem Grande (Macaronesian archipelago), in the Eastern Atlantic. *Integr. Zool.* 5, 70–83.
- Parker, I., Simberloff, D., e Lonsdale, W. (1999). Impact: toward a framework for understanding the ecological effects of invaders. *Biol. Invasions* 1, 3–19.
- Passera, L., Suzzoni, J.P., e Keller, L. (1988). Queen Replacement in Dequeened Colonies of the Argentine Ant *Iridomyrmex Humilis* (Mayr). *Psyche* (New York) 95, 59–65.

Pearman, P.B., Guisan, A., Broennimann, O., e Randin, C.F. (2008). Niche dynamics in space and time. *Trends Ecol. Evol.* 23, 149–158.

Peterson, a T. (2003). Projected climate change effects on Rocky Mountains and Great Plain birds: generalities of biodiversity consequences. *Glob. Chang. Biol.* 9, 647–655.

Peterson, A.T., Soberón, J., e Sánchez-Cordero, V. (1999). Conservatism of Ecological Niches in Evolutionary Time. *Science* (80-.). 285, 1265–1267.

Phillips, S.J., Anderson, R.P., e Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Modell.* 231–259.

Plentovich, S., Eijzenga, J., Eijzenga, H., e Smith, D. (2011). Indirect effects of ant eradication efforts on offshore islets in the Hawaiian Archipelago. *Biol. Invasions* 13, 545–557.

Queiroz, A.I., e Alves, D. (2016). Local responses to a global invasive species. Varying reasons for controlling the Argentine ant in the Madeira archipelago (1850-2014). *E-Journal Port. Hist.* 14, 72–92.

Rando, J.C., Pieper, H., Alcover, J.A., e Olson, S.L. (2012). A new species of extinct fossil scops owl (Aves: Strigiformes: Strigidae: Otus) from the Archipelago of Madeira (North Atlantic Ocean). *Zootaxa* 42, 29–42.

Régnier, C., Fontaine, B., e Bouchet, P. (2009). Not knowing, not recording, not listing: Numerous unnoticed mollusk extinctions. *Conserv. Biol.* 23, 1214–1221.

Roig, X., e Espadaler, X. (2010). Propuesta de grupos funcionales de hormigas para la Península Ibérica y Baleares, y su uso como bioindicadores. *Iberomyrmex* 2, 28–29.

Rose, S. (1997). Influence of suburban edges on invasion of *Pittosporum undulatum* into the bushland of northern Sydney, Australia. *Aust. J. Ecol.* 22, 89–99.

Roura-Pascual, N., e Suarez, A. (2008). The utility of species distribution models to predict the spread of invasive ants (Hymenoptera: Formicidae) and to anticipate changes in their ranges in the face of. *Myrmecol News* 67–77.

Roura-Pascual, N., Suarez, A. V., Gomez, C., Pons, P., Touyama, Y., Wild, A.L., e Peterson, A.T. (2004). Geographical potential of Argentine ants (*Linepithema humile* Mayr) in the face of global climate change. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 271, 2527–2535.

Roura-Pascual, N., Brotons, L., Peterson, A.T., e Thuiller, W. (2009). Consensual predictions of potential distributional areas for invasive species: A case study of

Argentine ants in the Iberian Peninsula. *Biol. Invasions* 11, 1017–1031.

Roura-Pascual, N., Hui, C., Ikeda, T., Leday, G., Richardson, D.M., Carpintero, S., Espadaler, X., Gomez, C., Guenard, B., Hartley, S., et al. (2011). Relative roles of climatic suitability and anthropogenic influence in determining the pattern of spread in a global invader. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 108, 220–225.

Rowles, A.D., e Silverman, J. (2009). Carbohydrate supply limits invasion of natural communities by argentine ants. *Oecologia* 161, 161–171.

Sánchez-cordero, V., Cirelli, V., Munguía, M., e Sarkar, S. (2005). Place Prioritization For Biodiversity Representation Using Species ' Ecological Niche Modeling. *Biodivers. Informatics* 11–23.

Santos, F.D., e Aguiar, R. (2006). Impactos e Medidas de Adaptação às Alterações Climáticas no Arquipélago da Madeira. Projecto CLIMAAT II (Funchal: Direcção Regional do Ambiente da Madeira).

Sax, D.F., Gaines, S.D., e Brown, J.H. (2002). Species Invasions Exceed Extinctions on Islands Worldwide: A Comparative Study of Plants and Birds. *Am. Nat.* 160, 766–783.

Seifert, B. (2002). The ant genus *Cardiocondyla* (Insecta: Hymenoptera: Formicidae)-a taxonomic revision of the *C. elegans*, *C. bulgarica*, *C. batesii*, *C. nuda*, *C. shuckardi*, *C. stambuloffii*, *C. wroughtonii*, *C. emeryi*, and *C. minutior* species groups. *Ann. des Naturhistorischen Museums Wien. Ser. B für Bot. und Zool.* 203–338.

Silva, L., e Smith, C.W. (2004). A characterization of the non-indigenous flora of the Azores Archipelago. *Biol. Invasions* 6, 193–204.

Silva, O.L., e Rodríguez, L.J.L. (2008). Flora e Fauna Terrestre. Invasora na Macaronésia. TOP 100 nos Açores, Madeira e Canárias (Ponta Delgada: ARENA).

Silverman, J., e Brightwell, R.J. (2008). The Argentine ant: challenges in managing an invasive unicolonial pest. *Annu. Rev. Entomol.* 53, 231–252.

Simberloff, D. (2004). Community Ecology: Is It Time to Move On? *Am. Nat.* 163, 787–799.

Simberloff, D., Martin, J.L., Genovesi, P., Maris, V., Wardle, D.A., Aronson, J., Courchamp, F., Galil, B., García-Berthou, E., Pascal, M., et al. (2013). Impacts of biological invasions: What's what and the way forward. *Trends Ecol. Evol.* 28, 58–66.

Steiner, F.M., Schlick-Steiner, B.C., Vanderwal, J., Reuther, K.D., Christian, E., Stauffer,

C., Suarez, A. V., Williams, S.E., e Crozier, R.H. (2008). Combined modelling of distribution and niche in invasion biology: A case study of two invasive *Tetramorium* ant species. *Divers. Distrib.* 14, 538–545.

Suarez, A. V, Richmond, J.O.N.Q., e Case, T.E.D.J. (2000). Prey Selection in Horned Lizards Following the Invasion of Argentine Ants in Southern California Author (s): Andrew V . Suarez , Jon Q . Richmond and Ted J . Case Published by : Wiley Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/2641040> Accessed : 15-03-201. *Ecol. Appl.* 10, 711–725.

Suarez, A. V., Holway, D.A., e Case, T.J. (2001). Patterns of spread in biological invasions dominated by long-distance jump dispersal: Insights from Argentine ants. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 98, 1095–1100.

Suarez, A. V., Yeh, P., e Case, T.J. (2005). Impacts of Argentine ants on avian nesting success. *Insectes Soc.* 52, 378–382.

Sunamura, E., Espadaler, X., Sakamoto, H., Suzuki, S., Terayama, M., e Tatsuki, S. (2009). Intercontinental union of Argentine ants: Behavioral relationships among introduced populations in Europe, North America, and Asia. *Insectes Soc.* 56, 143–147.

Thuiller, W., Lavorel, S., Araujo, M.B., Sykes, M.T., e Prentice, I.C. (2005). Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 102, 8245–8250.

Touyama, Y., Ogata, K., e Sugiyama, T. (2003). The Argentine ant , *Linepithema humile* , in Japan : Assessment of impact on species diversity of ant communities in urban environments. 57–62.

Trumble, J.T., e Butler, C.D. (2009). Climate change will exacerbate California's insect pest problems. *Calif. Agric.* 63, 73–78.

Tsutsui, N.D., Suarez, A. V., Holway, D.A., e Case, T.J. (2000). Reduced genetic variation and the success of an invasive species. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 97, 5948–5953.

Tsutsui, N.D., Suarez, A. V, Holway, D.A., e Case, T.J. (2001). Relationships among native and introduced populations of the Argentine ant (*Linepithema humile*) and the source of introduced populations. *Mol. Ecol.* 10(9), 2151–2161.

Vicente, J., Randin, C.F., Gonçalves, J., Metzger, M.J., Lomba, ??ngela, Honrado, J., e Guisan, A. (2011). Where will conflicts between alien and rare species occur after climate and land-use change? A test with a novel combined modelling approach. *Biol. Invasions* 13, 1209–1227.

- Vieira, A. (2003). A Vinha e o Vinho na História da Madeira (Funchal: Centro de Estudos de História do Atlântico).
- Vogel, V., Pedersen, J.S., Giraud, T., Krieger, M.J.B., e Keller, L. (2010). The worldwide expansion of the Argentine ant. *Divers. Distrib.* 16, 170–186.
- Ward, P.S. (1987). Distribution of the Introduced Argentine Ant (*Iridomyrmex humilis*) in Natural Habitats of the Lower Sacramento Valley and its Effects on the Indigenous Ant Fauna. *Hildegardia* 55, 1–16.
- Way, M.J. (1963). Mutualism between ants and honeydew producing- homopterans. *Annu. Rev. Entomol.* 8, 307–344.
- Wetterer, J.K., e Espadaler, X. (2010). Invasive ants of Macaronesia.
- Wetterer, J.K., e Wetterer, A.L. (2006). A disjunct Argentine ant metacolony in Macaronesia and southwestern Europe. *Biol. Invasions* 8, 1123–1129.
- Wetterer, J., Wetterer, A., e Hebard, E. (2001). Impact of the Argentine Ant, *Linepithema Humile* on the Native Ants of Santa Cruz Island, California. *Sociobiology* 38, 709–721.
- Wetterer, J., Wild, A., e Suarez, A. (2009). Worldwide spread of the Argentine ant, *Linepithema humile* (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological*.
- Wetterer, J.K., Espadaler, X., Wetterer, A.L., Aguin-Pombo, D., e Franquinho-Aguiar, A.M. (2006). Long-term impact of exotic ants on the native ants of Madeira. *Ecol. Entomol.* 31, 358–368.
- Wetterer, J.K., Espadaler, X., Wetterer, A.L., e Aguin-pombo, D. (2007). Ants (Hymenoptera : Formicidae) of the Madeiran Archipelago. *Sociobiology* 49.
- Whittaker, R.J., e Fernández-Palacios, J.M. (2007). *Island Biogeography: Ecology, Evolution, and Conservation* (Oxford and New York: Oxford University Press).
- Wild, A.L. (2004). Taxonomy and Distribution of the Argentine Ant, *Linepithema humile* (Hymenoptera: Formicidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 97, 1204–1215.

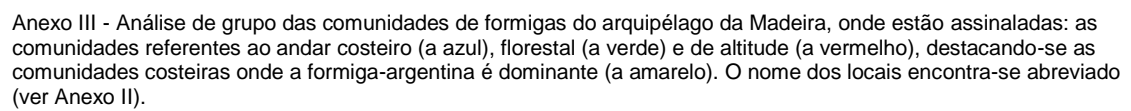
7. Anexos

Anexo I - Espécies de formigas identificadas em vários locais de amostragem no arquipélago da Madeira, usando a técnica de *pitfall*. As amostras foram recolhidas no âmbito do projeto PTDC/BIA-BEC/99138/2008

| | Bu | N | IC | Sul | Pinai | Sul | Doca | Casam | Sul | Ical | Iferro | Iforal | sul | ranco | prada | selo | pinhi | Ana | Ferr | Encumeada | Rabacal | Itoqueira | I'reiro | T'reeiro | Titi | Rabacas | SE | Estacio | Loreto | ch | Cruz | extarna | pinhobroiras | E | M | P | baso | Volras | Las | Poreira | 'sIL | N | pp | | | |
|-----------------------------------|-----|------|-----|-----|-------|-----|------|-------|-----|------|--------|--------|-----|-------|-------|------|-------|-----|------|-----------|---------|-----------|---------|----------|------|---------|------|---------|--------|------|------|---------|--------------|---|----|---|------|--------|-----|---------|------|---|----|-----|------|-------|
| <i>Cardiocondylia emeryi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 | 463 | 120 | 37 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1169 | |
| <i>Cardiocondylia mauritanica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 15 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 82 | | |
| <i>Hypoponera eduardi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 13 | 15 | 8 | 1 | 0 | 6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 52 | |
| <i>Hypoponera punctatissima</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | |
| <i>Lasius grandis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 115 | 19 | 43 | 237 | 161 | 41 | 0 | 1225 | 0 | 989 | 5281 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8173 |
| <i>Linepithema humile</i> | 0 | 1572 | 0 | 335 | 71 | 0 | 0 | 3003 | 0 | 15 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1653 | 0 | 12 | 37 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 43794 |
| <i>Monomorium carbonarium</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 41 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 81 | |
| <i>Monomorium subopacum</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 173 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 224 | |
| <i>Myrmecina graminicola</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 8 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 161 | 26 | 4 | 3 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 238 | | |
| <i>Tennothorex unifasciatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 | |
| <i>Plagiolepis schmitzii</i> | 0 | 0 | 193 | 7 | 0 | 0 | 0 | 3928 | 0 | 67 | 13 | 727 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 | 4970 |
| <i>Tapinoma madeirense</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 284 | 1035 | 63 | 0 | 0 | 1 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 1399 |
| <i>Tetramorium bicarinatum</i> | 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 380 | 0 | 196 | 0 | 99 | 35 | 46 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 903 | |
| <i>Tetramorium caldarum</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | |

Anexo II - Locais de amostragem onde foi aplicada a técnica de *pitfall* no arquipélago da Madeira com indicação das suas coordenadas geográficas (em graus decimais) e tipo de habitat, no âmbito do Projeto PTDC/BIABEC/99138/2008

| CÓDIGO | LOCAL | LATITUDE | LONGITUDE | HABITAT |
|--------|---------------------------------|----------|-----------|-------------|
| 1 | Achadas da Cruz | 32.8390 | -17.2117 | EUCALIPTAL |
| 2 | Loreto | 32.7781 | -17.2099 | PINHAL |
| 3 | Rabaçal | 32.7647 | -17.1341 | LAURISSILVA |
| 4 | Rabaças | 32.7413 | -17.0783 | URZAL |
| 5 | Encumeada | 32.7558 | -17.0143 | LAURISSILVA |
| 6 | Montado dos Pessegueiros | 32.8090 | -17.0714 | LAURISSILVA |
| 7 | Miradouro das Voltas | 32.8077 | -16.9499 | LAURISSILVA |
| 8 | Pico Arieiro | 32.7287 | -16.9202 | PRADO |
| 9 | Estrada p/ Arieiro | 32.7231 | -16.9109 | PRADO |
| 10 | Fajã da Nogueira | 32.7391 | -16.9156 | LAURISSILVA |
| 11 | Santana | 32.8024 | -16.8658 | PINHAL |
| 12 | Abobreiras | 32.7201 | -16.8602 | URZAL |
| 13 | Portela | 32.7458 | -16.8231 | EUCALIPTAL |
| 14 | Ponta de S. Lourenço - eólicas | 32.7457 | -16.7246 | COSTEIRO |
| 15 | Prainha | 32.7471 | -16.7163 | COSTEIRO |
| 16 | Ilhéu do Ferro | 33.0377 | -16.4078 | COSTEIRO |
| 17 | Ilhéu da Cal | 33.0018 | -16.3834 | COSTEIRO |
| 18 | Pico Ana Ferreira | 33.0433 | -16.3732 | PINHAL |
| 19 | Pico do Castelo | 33.0808 | -16.3320 | PINHAL |
| 20 | Pico Branco | 33.0913 | -16.3063 | COSTEIRO |
| 21 | Ilhéu do Farol | 33.0536 | -16.2787 | COSTEIRO |
| 22 | Ilhéu Chão | 32.5810 | -16.5431 | COSTEIRO |
| 23 | Deserta Grande – Castanheira | 32.5529 | -16.5296 | COSTEIRO |
| 24 | Deserta Grande – Doca | 32.5174 | -16.5114 | COSTEIRO |
| 25 | Deserta Grande – Planalto sul | 32.4948 | -16.4969 | COSTEIRO |
| 26 | Bugio | 32.4144 | -16.4779 | COSTEIRO |



Anexo IV - Resultados de consenso, tendo em conta os dados de distribuição na ilha da Madeira. EOO (extensão de ocorrência); AOO (área de ocupação)

| | AUC | Kappa | TSS | EOO (raw) | EOO (model) | AOO (raw) | AOO (model) |
|-------------|-----------|------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| 1960 | 0.7012108 | 0.1135416 | 0.4134615 | 619.5064 | 966.5 | 48 | 500 |
| 2040 | 0.6843839 | 0.09998428 | 0.389245 | 619.5064 | 966.5 | 48 | 560 |
| 2070 | 0.6788640 | 0.1054266 | 0.3696581 | 619.5064 | 966.5 | 48 | 592 |

Anexo V - Total de itens recolhidos pela formiga-argentina

| | CONTAGEM | % |
|---------------------------------------|----------|-------|
| LEPIDOPTERA (LAGARTA) | 5 | 1,8% |
| <i>L. HUMILE</i> (CADÁVER) | 25 | 8,9% |
| N.I. (NÃO IDENTIFICADO) | 84 | 29,8% |
| LARVA | 16 | 5,7% |
| S/ TRANSPORTE DE ITEMS (0) | 47 | 16,7% |
| S/ACTIVIDADE | 19 | 6,7% |
| COLEOPTERA (LARVA) | 5 | 1,8% |
| <i>L. HUMILE</i> (RAINHA) | 12 | 4,3% |
| VEGETAL | 7 | 2,5% |
| ÁCARO | 6 | 2,1% |
| COLEOPTERA | 3 | 1,1% |
| ARTRÓPODE | 2 | 0,7% |
| ISOPODA (LARVA) | 1 | 0,4% |
| ZYGENTOMA | 1 | 0,4% |
| HETEROCERA (TRAÇA) | 2 | 0,7% |
| ARANHA | 2 | 0,7% |
| THYSANOPTERA | 1 | 0,4% |
| PSOCOPTERA | 2 | 0,7% |
| CURCULIONIDADE | 1 | 0,4% |
| CICADELLIDAE | 16 | 5,7% |
| CICADELLIDAE (NINFA) | 7 | 2,5% |
| PSYLLIDAE | 3 | 1,1% |
| HETEROPTERA | 3 | 1,1% |
| HOMOPTERA | 2 | 0,7% |
| MIRIDAE | 4 | 1,4% |
| LYGAEIDAE (NINFA) | 1 | 0,4% |
| LYGAEIDAE | 3 | 1,1% |
| HEMIPTERA | 1 | 0,4% |
| FLATIDAE | 1 | 0,4% |
| TOTAL | 282 | 100% |

Anexo VI – Itens de dieta sólida recolhidos pela formiga-argentina, em abril

| SP | ABRIL | % |
|-------------------------|-------|------|
| LEPIDOPTERA | 4 | 3% |
| ITENS NÃO IDENTIFICADOS | 70 | 49% |
| LARVAS | 14 | 10% |
| COLEOPTERA | 6 | 4% |
| VEGETAL | 6 | 4% |
| ACARI | 4 | 3% |
| OUTROS ARTHROPODA | 2 | 1% |
| ISOPODA | 1 | 1% |
| ZYGENTOMA | 1 | 1% |
| ARANEAE | 1 | 1% |
| CICADELLIDAE | 22 | 15% |
| PSYLLIDAE | 3 | 2% |
| HETEROPTERA | 3 | 2% |
| HOMOPTERA | 1 | 1% |
| MIRIDAE | 4 | 3% |
| TOTAL | 142 | 100% |

Anexo VII - Itens de dieta sólida recolhidos pela formiga-argentina, em junho

| SP | JUNHO | JUNHO % |
|-------------------------|-------|---------|
| LEPIDOPTERA | 3 | 8% |
| ITENS NÃO IDENTIFICADOS | 14 | 38% |
| LARVAS | 2 | 5% |
| VEGETAL | 1 | 3% |
| ACARI | 2 | 5% |
| COLEOPTERA | 3 | 8% |
| ARANEAE | 1 | 3% |
| THYSANOPTERA | 1 | 3% |
| PSOCOPTERA | 2 | 5% |
| CICADELLIDAE | 1 | 3% |
| HOMOPTERA | 1 | 3% |
| LYGAEIDAE | 4 | 11% |
| OUTROS HEMIPTERA | 1 | 3% |
| FLATIDAE | 1 | 3% |
| TOTAL | 37 | 100% |